

核技术利用建设项目

(送审稿)

核医学科改扩建项目

环境影响报告表

北京清华长庚医院

二〇一七年八月

环境保护部监制

核技术利用建设项目

(送审稿)

核医学科改扩建项目

环境影响报告表

建设单位：北京清华长庚医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：北京市昌平区立汤路 168 号

邮政编码：102218

联系人：齐华文

电子邮箱：qihuawen@msn.cn 联系电话：18910777624

目 录

表 1	项目基本情况.....	1
表 2	放射源.....	16
表 3	非密封放射性物质.....	16
表 4	射线装置.....	17
表 5	废弃物（重点是放射性废弃物）.....	18
表 6	评价依据.....	19
表 7	保护目标与评价标准.....	21
表 8	环境质量和辐射现状.....	25
表 9	项目工程分析与源项.....	28
表 10	辐射安全与防护.....	32
表 11	环境影响分析.....	40
表 12	辐射安全管理.....	48
表 13	结论与建议.....	54
表 14	审批.....	56
附图 1	项目地理位置示意图.....	57
附图 2	核医学科所在位置示意图.....	58
附图 3	医院现有核医学科平面图.....	59
附图 4	医院拟改造后的核医学科平面图.....	60
附图 5	医院拟改造后的核医学科区域防护图.....	61
附图 6	医院拟改造后的核医学科区域排水示意图.....	62
附图 7	医院拟改造后的核医学科区域排风示意图.....	63
附件 1	辐射安全许可证正、副本.....	64
附件 2	历次环评、验收批复文件.....	69
附件 3	医院各项辐射安全管理制度文件.....	83
附件 4	最近 4 个季度个人剂量检测报告.....	129
附件 5	关于辐射工作人员剂量检测结果异常的调查报告.....	159
附件 6	浙江建安检测研究院有限公司检测报告.....	160
附件 7	本项目改扩建部分辐射环境背景检测报告.....	166
附件 8	核医学科辐射工作人员相关信息一览表.....	176
附件 9	核医学科辐射工作人员培训合格证.....	177
附件 10	医疗机构执业许可证正、副本.....	183
附件 11	放射诊疗许可证正、副本.....	188
	建设项目环评审批基础信息表.....	196

表 1 项目基本情况

建设项目名称		核医学科改扩建项目			
建设单位		北京清华长庚医院			
法人代表	姜胜耀	联系人	齐华文	联系电话	18910777624
注册地址		北京市昌平区立汤路 168 号			
项目建设地点		北京市昌平区立汤路 168 号			
立项审批部门		/		批准文号	/
建设项目总投资 (万元)	1700	项目环保投资 (万元)	300	投资比例 (环保投资/总投资)	17.6%
项目性质		<input type="checkbox"/> 新建 <input checked="" type="checkbox"/> 改建 <input checked="" type="checkbox"/> 扩建 <input type="checkbox"/> 其它		占地面积 (m ²)	575
应用类型	放射源	<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> I 类 <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
		<input type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> I 类 (医疗使用) <input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类 <input type="checkbox"/> IV 类 <input type="checkbox"/> V 类		
	非密封放射性物质	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> 制备 PET 用放射性药物		
		<input type="checkbox"/> 销售	/		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input checked="" type="checkbox"/> 乙 <input type="checkbox"/> 丙		
	射线装置	<input type="checkbox"/> 生产	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input type="checkbox"/> 销售	<input type="checkbox"/> II 类 <input type="checkbox"/> III 类		
		<input checked="" type="checkbox"/> 使用	<input type="checkbox"/> II 类 <input checked="" type="checkbox"/> III 类		
	其它	/			

项目概况

1.1 单位概况

北京清华长庚医院（原清华大学天通苑医院）是由清华大学与北京市共建共管的大型综合性公立医院，建设过程中，得到了台塑关系企业和台湾长庚纪念医院的无私捐建、支援。医院座落于北京市昌平区天通苑地区，占地面积 9.48 万平方米，总建筑面积 22.5 万平方米，总规划床位 1500 床。

北京清华长庚医院是融医疗、教学、科研、预防、康复于一体的大学附属医院，开设了内科、外科、妇科、儿科、眼科、口腔科、检验、病理、影像等 40 余个临床和医技科室。

医院配备先进的医疗设备，为高品质的医疗服务提供了有力保障。医院秉持“人本、济世、厚德、至善”的价值，以“提供健康守护、培养医学精英、创新临床研究、追求卓越管理”为使命，充分依托清华大学厚重的人文底蕴和宽实的科技平台，创建新时期公立医院改革与发展的新模式，努力建设成为国际一流的医学中心。

北京清华长庚医院位于北京市昌平区立汤路 168 号（地理位置图见附图 1），医院北邻太平庄中二街，南邻太平庄中一街，西邻立汤路，东邻立水桥北路。

1.2 核技术及辐射安全管理现状

1.2.1 核技术利用现状情况

北京清华长庚医院于 2017 年 4 月 13 日取得北京市环境保护局颁发的辐射安全许可证，证书编号为京环辐证[00116]，许可的活动种类和范围为：使用 II 类、III 类射线装置，乙级非密封放射性物质工作场所，许可证有效期至 2019 年 10 月 10 日（许可证正、副本见附件 1）。北京清华长庚医院已许可的射线装置明细见表 1-1，已许可的放射性同位素明细见表 1-2。

表 1-1 已许可的射线装置明细表

序号	装置名称	类别	型号	场所	数量/台
1	医疗电子直线加速器	II	Elekta Synergy Platform	放射治疗科	1
2	移动式 C 型臂 X 射线机	III	FLUOROSCAN Insight	手术室	1
3	牙科全景 X 光机	III	ORTHOPHOS XG 3D ready	口腔科	1
4	移动式 C 型臂 X 射线机	III	O-Arm 1000	手术室	1
5	移动 X 射线机	III	Mobilett Mira	放射诊断科	1
6	计算机断层扫描仪 (CT)	III	Uct760	急诊科	1
7	遥感摄影	III	Luminos Fusion 智敏	放射诊断科	1
8	骨密度检测仪	III	Discovery A	放射诊断科	1
9	移动式 C 型臂 X 射线机	III	ACADIS Orbic 3D	手术室	1
10	SPECT/CT	III	Discovery NM/CT 670	核医学科	1
11	计算机断层扫描仪 (CT)	III	Discovery CT590 RT	放射治疗科	1
12	计算机断层扫描仪 (CT)	III	Discovery CT750 HD	放射诊断科	1
13	数字乳房摄影 X 射线机	III	MAMMOMAT Inspiration	放射诊断科	1
14	牙根尖 X 射线机	III	HELIODENT PLUS D3507	口腔科	1
15	牙科 X 射线 CT	III	HiRes 3D	口腔科	1
16	移动 X 射线机	III	Mobilett Mira	放射诊断科	1
17	移动 X 射线机	III	Mobilett Mira	放射诊断科	1
18	移动 X 射线机	III	Mobilett Mira	放射诊断科	1
19	数字胸部 X 射线机	III	RAD SPEED M	放射诊断科	1
20	数字常规检查射线 X 光机	III	RAD SPEED M	急诊科	1
21	数字常规检查射线 X 光机	III	RAD SPEED M	放射诊断科	1
22	数字常规检查射线 X 光机	III	RAD SPEED M	放射诊断科	1
23	数字常规检查射线 X 光机	III	RAD SPEED M	放射诊断科	1
24	碎石机	III	HK. ESWL-V	放射诊断科	1
25	血管造影机 (DSA)	II	Artist zee III biplane	心导管室	1
26	血管造影机 (DSA)	II	Artist zee III floor	心导管室	1
27	血管造影机 (DSA)	II	Innova 4100-IQ	放射诊断科	1

表 1-2 已许可的放射性同位素明细表

序号	核素	场所等级	理化状态	日等效最大操作量	年最大用量	工作场所
1	¹³¹ I	乙级	固体, 半衰期: 8.04d	3.70E+05Bq	1.11E+09Bq	门诊楼地下一层核医学科
2	^{99m} Tc	乙级	液体溶液, 半衰期: 6.02h	3.70E+08Bq	2.49E+12Bq	

1.2.2 近几年履行环保审批情况

医院近几年核技术应用项目履行环保手续审批情况见表 1-3 (批复详见附件 2)。

表 1-3 近几年履行环保手续审批情况一览表

项目内容	类别	环评文号	验收文号
放射诊疗项目	报告表	京环审[2012]23 号	京环验[2016]301 号
放射诊疗变更项目	报告表	京环审[2014]256 号	京环验[2016]302 号
使用 III 类射线装置	登记表	京环审[2015]479 号	京环验[2016]279 号

1.2.3 辐射安全管理情况

(1) 辐射安全管理机构

医院已成立辐射安全领导小组, 明确以法人姜胜耀为第一责任人, 副总执行长赵刚为主要责任人暨领导小组组长, 相关科室领导和专职管理人员参与具体工作。辐射安全领导小组主要负责全院辐射安全管理工作, 规范全院医用射线装置和非密封放射性物质的使用管理。

辐射安全领导小组相关人员情况见表 1-4。

表 1-4 辐射安全领导小组人员表

序号	姓名	性别	职务	管理人员	专/兼职
1	赵刚	男	副总执行长	组长	兼职
2	郑卓肇	男	医技部部长、放射科主任、兼核医学科主任	副组长	专职
3	张立东	男	医政组副组长	组员	兼职
4	苏立楠	男	仪器处代理副处长	组员	兼职
5	李树勋	男	工务处科长	组员	兼职
6	段鹏	男	保卫科科长	组员	兼职
7	王兴	男	放疗科技师	组员	专职
8	余飞	男	心脏内科医师	组员	兼职
9	陈连旭	男	骨科医师	组员	兼职
10	苏伟	男	神经外科医师	组员	兼职
11	张跃伟	男	肝胆介入科主任	组员	兼职
12	齐华文	男	放射科技术组长	组员	专职
13	王婷	女	医政组	组员	专职

(2) 辐射安全管理制度

北京清华长庚医院已制定一系列辐射安全管理制度（详见附件 3），包括《辐射安全管理体系与岗位职责》、《操作规程》、《辐射防护和安全保卫制度》、《放射工作人员管理制度》、《辐射安全培训制度》、《射线装置台账管理制度》、《放射性药品台账管理制度》、《辐射监测方案》、《设备检修维护制度》、《放射性废物管理制度》、《辐射事故应急预案》等，并要求严格执行。

(3) 工作人员培训情况

医院规定所有辐射工作人员，在上岗前必须接受环保部门认可培训机构组织的辐射防护与安全培训，并通过考试合格后上岗。每 4 年参加一次复训。

医院现有辐射管理及工作人员共 70 人，其中核医学科辐射工作人员 11 人。医院已组织全部辐射工作人员参加了环保部门认可培训机构组织的辐射安全与防护培训，并取得培训合格证书。辐射工作人员及培训情况统计情况见表 1-5。

表 1-5 辐射工作人员及培训情况统计表

序号	姓名	性别	培训单位	培训时间	培训证号
1	赵刚	男	中国原子能科学研究院	2014.8.29	B1416002
2	张立东	男	中国原子能科学研究院	2014.8.29	B1416004
3	苏立楠	男	清华大学	2015.10.30	A1512027
4	段鹏	男	中国原子能科学研究院	2014.8.29	B1416003
5	樊荣	男	环保部核与辐射安全中心	2016.7.29	H0603024
6	王维	男	清华大学	2015.10.30	A1512046
7	王婷	女	环保部核与辐射安全中心	2016.7.29	H0603025
8	郑卓肇	男	清华大学	2015.10.30	A1512033
9	齐华文	男	清华大学	2017.4.6	A1702044
10	董鸿鹏	男	清华大学	2017.4.6	A1702045
11	曹吉平	女	清华大学	2017.4.6	A1702046
12	许艺兰	女	清华大学	2014.4.25	A1400170
13	关欣	女	中国原子能科学研究院	2014.8.29	B1416016
14	刘德庆	男	中国原子能科学研究院	2014.8.29	B1416013
15	马永强	男	清华大学	2015.10.30	A1512035
16	尚瑶	女	清华大学	2015.10.30	A1512036
17	王丹	女	中国原子能科学研究院	2014.8.29	B1416014
18	侯萌	女	中国原子能科学研究院	2014.8.29	B1416015
19	赵红亮	男	清华大学	2015.10.30	A1512042
20	王先道	男	中国原子能科学研究院	2014.7.18	B1414039
21	吴凌云	女	中国原子能科学研究院	2014.7.18	B1414040
22	唐小力	女	中国原子能科学研究院	2014.7.18	B1414042

续表 1-5 辐射工作人员及培训情况统计表

序号	姓名	性别	培训单位	培训时间	培训证号
23	路宁	男	清华大学	2015.10.30	A1512043
24	张晨	女	中国原子能科学研究院	2014.8.29	B1416012
25	赵海旭	男	清华大学	2015.10.30	A1512039
26	杨君梅	女	清华大学	2015.10.30	A1512041
27	刘国庆	男	清华大学	2015.10.30	A1512040
28	李洁	女	清华大学	2015.10.30	A1512037
29	赵本琦	男	清华大学	2015.10.30	A1512038
30	梁斌	男	环保部核与辐射安全中心	2016.7.29	H0603017
31	乔健	男	清华大学	2017.4.6	A1702047
32	李燕	女	中国原子能科学研究院	2014.8.29	B1416017
33	秦琳	女	清华大学	2016.8.17	A1610112
34	蒋静	女	清华大学	2016.8.17	A1610107
35	邵莹	女	环保部核与辐射安全中心	2014.7.24	H1404012
36	王兴	男	清华大学	2015.10.30	A1512044
37	韩莹	女	清华大学	2015.10.30	A1512045
38	赵莹鹏	男	中国原子能科学研究院	2014.8.29	B1416018
39	张原彬	男	中国原子能科学研究院	2014.6.28	B1412022
40	潘勇卫	男	清华大学	2015.10.30	A1512031
41	赵喆	男	清华大学	2015.10.30	A1512032
42	陆秋香	女	清华大学	2016.8.17	A1610113
43	王许佳	男	环保部核与辐射安全中心	2016.7.29	H0603023
44	张萍	女	中国原子能科学研究院	2014.8.29	B1416006
45	余飞	男	清华大学	2015.10.30	A1512056
46	缪国斌	男	清华大学	2016.8.17	A1610108
47	何榕	女	清华大学	2015.6.28	B1521120
48	刘元伟	男	清华大学	2017.4.6	A1702049
49	薛亚军	男	清华大学	2015.10.30	A1512047
50	王昊天	男	中国原子能科学研究院	2014.8.29	B1416007
51	张鸥	男	清华大学	2015.10.30	A1512049
52	翟彦龙	男	清华大学	2016.8.17	A1610109
53	任春晖	女	中国原子能科学研究院	2014.8.29	B1416010
54	蒋卫卫	女	中国原子能科学研究院	2014.8.29	B1416009
55	唐慕兰	女	中国原子能科学研究院	2014.8.29	B1416011
56	薛媛	女	环保部核与辐射安全中心	2016.7.29	H0603019
57	计瑞明	女	清华大学	2015.10.30	A1512055
58	于吉生	男	清华大学	2017.4.6	A1702050
59	黄弢	男	环保部核与辐射安全中心	2016.7.29	H0603018
60	吴巍巍	男	环保部核与辐射安全中心	2016.7.29	H0603021
61	赵克强	男	清华大学	2015.10.30	A1512050
62	曹战江	男	清华大学	2015.10.30	A1512052

续表 1-5 辐射工作人员及培训情况统计表

序号	姓名	性别	培训单位	培训时间	培训证号
63	赵俊来	男	清华大学	2016.8.17	A1610110
64	杨宇	男	清华大学	2015.10.30	A1512051
65	苏伟	男	清华大学	2016.8.17	A1610111
66	李伟	男	环保部核与辐射安全中心	2016.7.29	H0603022
67	王也	男	清华大学	2017.4.6	A1702048
68	蔡津京	男	清华大学	2015.10.30	A1512028
69	庞晓明	男	清华大学	2015.10.30	A1512029
70	廖鑫	男	清华大学	2015.10.30	A1512030

(4) 个人剂量检测结果

北京清华长庚医院辐射工作人员均按照规范佩戴个人剂量计，由专人负责收集剂量计并委托北京蓝道尔辐射监测技术有限公司承担个人剂量检测工作，监测频度为每季度一次；每季度的个人剂量检测结果和每年度的个人剂量检测报告均已存档备案。

评价期间，调阅了辐射工作人员 2016.4~2017.4 的年度个人剂量检测结果（详见附件 4）。根据北京蓝道尔辐射监测技术有限公司出具的个人剂量检测结果可知，该院辐射工作人员年受照剂量范围为（0.005~4.575）mSv/a，统计出年度受照剂量前五名见表 1-6。

表 1-6 2016.4~2017.4 前五名个人剂量检测结果一览表

序号	姓名	单次个人剂量检测结果 (mSv)				年有效剂量 (mSv)
		2016.4~2016.7	2016.7~2016.10	2016.10~2017.1	2017.1~2017.4	
1	李燕	4.50	0.07	/	0.005	4.575
2	李伟	1.76	0.11	0.05	0.03	1.95
3	繆国斌	/	0.02	0.03	0.29	0.34
3	苏立楠	0.17	0.17	/	/	0.34
5	薛亚军	0.25	0.03	0.02	0.005	0.305

备注：当个人剂量检测结果小于测量系统的最低可探测水平（MDL，胸章 MDL 值为 0.01mSv）的数据，取 MDL 的 1/2，即 0.005mSv。

根据表 1-6 可知：李燕和李伟 2016.4~2016.7 个人剂量检测结果异常，医院已分别对两人剂量异常原因进行了调查，并作出说明（详见附件 5）。其中，李燕剂量异常系个人原因（如保管不当等）导致，当月剂量检测结果不是本人真实剂量，同时，医院已对李燕工作岗位进行调整，安排其从事放射诊断报告书写，不直接接触 X 射线，并要求其加强对个人剂量计管理；李伟当月剂量是本人真实剂量，异常原因为介入检查和治疗工作量较大，医院已通知其所在科室减少其介入手术安排。根据后续剂量检测结果显示，此二人检测结果均回归正常。

(5) 工作场所及辐射环境监测

北京清华长庚医院已制定的辐射监测方案包括工作场所辐射水平监测和环境辐射水平监测。监测方案中包括实施部门、监测项目、点位及频次、监测机构。

医院辐射工作场所的监测包括委托监测和自行监测，委托监测每年由医院仪器处负责协调有资质的辐射监测单位进行，监测点位包括测试机房所在建筑物四周及场界，另外包含一个固定环境监测点位（周围相对空旷的空地或者绿地），监测报告和年度评估报告一并上报发证机关。对于 DSA、LA 和 SPECT/CT，各业务科室每半年自行进行 1 次自行监测，监测点位包括测试机房外四周、上方和下方的人员可达位置、防护门外、操作控制位。对于核医学科，每次操作开始前、结束后使用表面污染监测仪对工作场所的实验台面、地面进行监测。工作人员离开可能受到辐射污染的工场所时，监测工作服、体表的表面污染水平。

一旦场所和环境辐射水平监测结果异常，立即停止辐射活动，及时查找原因，采取有效措施，及时消除辐射安全隐患，隐患未消除前不得继续开展辐射工作。

北京清华长庚医院制定有相关场所的监测点位图及监测记录表。医院现有辐射监测仪器如表 1-7 所示；医院现有的辐射监测仪器状态良好，能够满足目前的工作需求。

表 1-7 现有监测仪器一览表

仪器名称	型号	仪器状态	数量
电离室巡测仪	FLUKE 451P	完好	1
表面污染监测仪	RADOS /RDS-80	完好	1
个人剂量报警仪	RAD-60	完好	3

(6) 辐射事故应急管理情况：医院已制定《辐射事故应急预案》。根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关规定，针对医院使用 II、III 类射线装置和放射性同位素可能发生的辐射事故，制定了应急预案，每年组织一次全院应急演练。

(7) 放射性“三废”处理情况

放射性废液：核医学科产生的放射性废液集中收集于 2 个 4.5m³ 的集水池内，待集水池内液面到达控制液位后一次性排至门诊楼西侧 100m³ 的衰变池内进行衰变，衰变至少 10 个半衰期后，委托有资质的检测机构对拟排放的放射性废水进行检测，检测达标后排入医院污水站简单处理，再排至市政污水收集管网。

放射性固废：核医学科使用后的空药瓶在使用完毕后均单独收集于铅桶内，待收集一定量后交由放射性药物转出单位回收；产生的注射器、一次性手套、棉棒等单独收集在铅

桶内，衰变至少 10 个半衰期，使用医院配备的辐射监测仪器对固体废物的表面污染和辐射剂量率水平进行监测，监测合格后作为普通医疗废物处理。

放射性废气：核医学科通风橱及各配套房间内均设置有通风管道，产生的放射性废气经专用通风管道排出。

1.3 本项目情况

医院现有核医学科位于门诊楼地下一层西侧（平面位置示意图见附图 2），核医学科主要包括热核室、调剂室、注射室、SPECT/CT 检查室、甲功能室及检查准备室各 1 间。核医学科东侧为核磁共振用房，南侧、西侧、北侧均为走道，上层为超声科，下层为往生室。

现有核医学科目前只能开展单光子放射性药物的门诊检查，缺少正电子药物显像检查能力。为满足患者需要，提高医院诊疗能力，迫切需要增加使用 ^{18}F 放射性同位素药物和 PET/CT 检查装置。同时，为配合和优化扩建后场所的功能设置，提高核医学科工作场所辐射安全措施，提升场所使用效率，还需要对增项后的场所进行重新设计和布局。

本项目拟在现有核医学科基础之上进行改扩建，对现有核医学科用房进行更为合理的布设，将放射性药物的暂存、分装、注射等活动集中于 1 间高活室内完成，规范医生、病人“双通道”。保持改扩建前后核医学科场所北侧、西侧和南侧边界不变，将东侧靠近核医学科部分核磁共振用房改建为 1 间 PET/CT 检查室及 1 间 PET/CT 候诊室，配备 1 台 PET/CT，增加使用放射性同位素药物 ^{18}F 。

本项目拟改建的 PET/CT 检查室西侧为原有 SPECT/CT 检查室，南侧为拟改建的 PET/CT 等候室及病人通道，东侧为核磁共振设备间，北侧为资讯室。

改扩建工作完成后核医学科相关工作内容见表表 1-8 及表 1-9。

表 1-8 改扩建完成后使用的射线装置相关参数一览表

序号	设备名称	型号	类别	参数	使用场所	备注
1	SPECT/CT	Discovery NM/CT 670	III 类	140kV, 380mA	门诊楼地下一层核医学科 SPECT/CT 检查室	原有
2	PET/CT	待定	III 类	150kV, 800mA	门诊楼地下一层核医学科 PET/CT 检查室	本次新增

表 1-9 改扩建完成后使用的放射性核素相关参数一览表

序号	核素	场所等级	理化状态	最大日操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	备注
1	^{131}I	乙级	固体, 半衰期: 8.04d	3.70E+06	3.70E+04	9.25E+08	原有核素, 改变用量
2	$^{99\text{m}}\text{Tc}$		液体, 半衰期: 6.02h	1.85E+10	1.85E+07	4.63E+12	原有核素, 改变用量
3	^{18}F		液体, 半衰期: 110min	7.40E+09	7.40E+06	1.85E+12	本次新增核素

(1) 放射性核素用量核算

使用放射性核素 ^{131}I 进行甲状腺及甲状旁腺扫描检查, 规划使用人数为 10 人/天, 每人使用的核素最大活度为 $10\mu\text{Ci}$ ($3.70\text{E}+05\text{Bq}$), 每年最多工作 250 天。 ^{131}I 的毒性分组为中毒, 状态为固体, 操作方式为很简单的操作, 根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002), 其毒性组别修正因子为 0.1, 操作方式与放射源状态修正因子为 10, 则日等效最大操作量为 $3.70 \times 10^4\text{Bq}$, 年最大用量为 $9.25 \times 10^8\text{Bq}$ 。

使用放射性核素 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 开展门诊显像检查, 规划使用人数为 20 人/天, 每人使用的核素最大活度为 25mCi ($9.25\text{E}+08\text{Bq}$), 每年最多工作 250 天。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的毒性分组为低毒, 状态为液体, 操作方式为很简单的操作, 根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002), 其毒性组别修正因子为 0.01, 操作方式与放射源状态修正因子为 10, 则日等效最大操作量为 $1.85 \times 10^7\text{Bq}$, 年最大用量为 $4.63 \times 10^{12}\text{Bq}$ 。

使用放射性核素 ^{18}F 开展门诊显像检查, 规划使用人数为 20 人/天, 每人使用的核素最大活度为 10mCi ($3.70\text{E}+08\text{Bq}$), 每年最多工作 250 天。 ^{18}F 的毒性分组为低毒, 状态为液体, 操作方式为很简单的操作, 根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002), 其毒性组别修正因子为 0.01, 操作方式与放射源状态修正因子为 10, 则日等效最大操作量为 $7.40 \times 10^6\text{Bq}$, 年最大用量为 $1.85 \times 10^{12}\text{Bq}$ 。

(2) 核医学科工作场所分级核算

根据本项目三种核素的日等效最大操作量累积计算, 核医学科工作场所日等效最大操作量为 $2.59 \times 10^7\text{Bq}$, 仍属于乙级非密封放射性物质工作场所。本次改扩建项目不改变原有核医学科工作场所的分级。

核医学科改扩建前后平面布局及周边环境状况示意图见图 1-1~图 1-5。

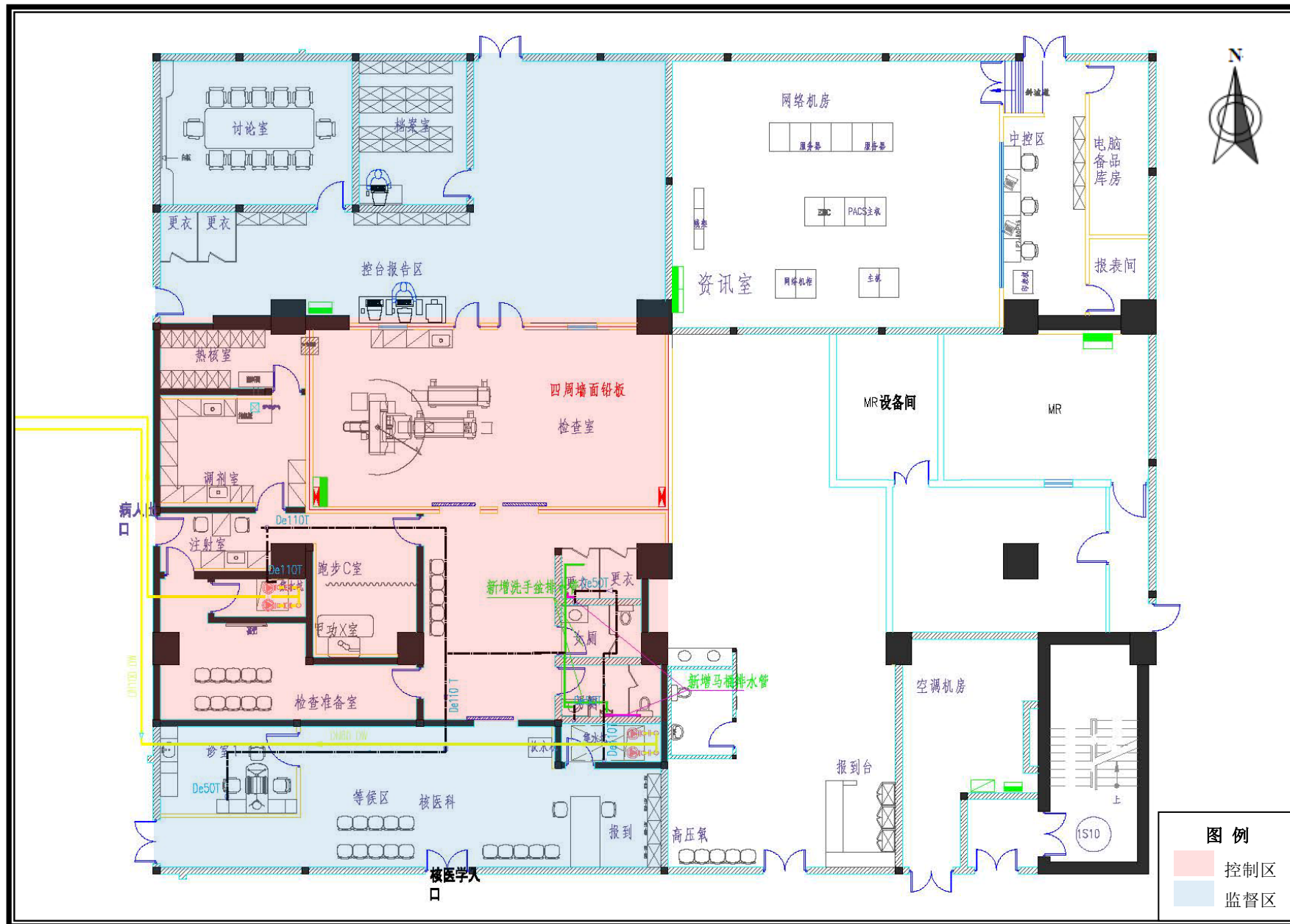


图 1-1 现有核医学科平面布局示意图

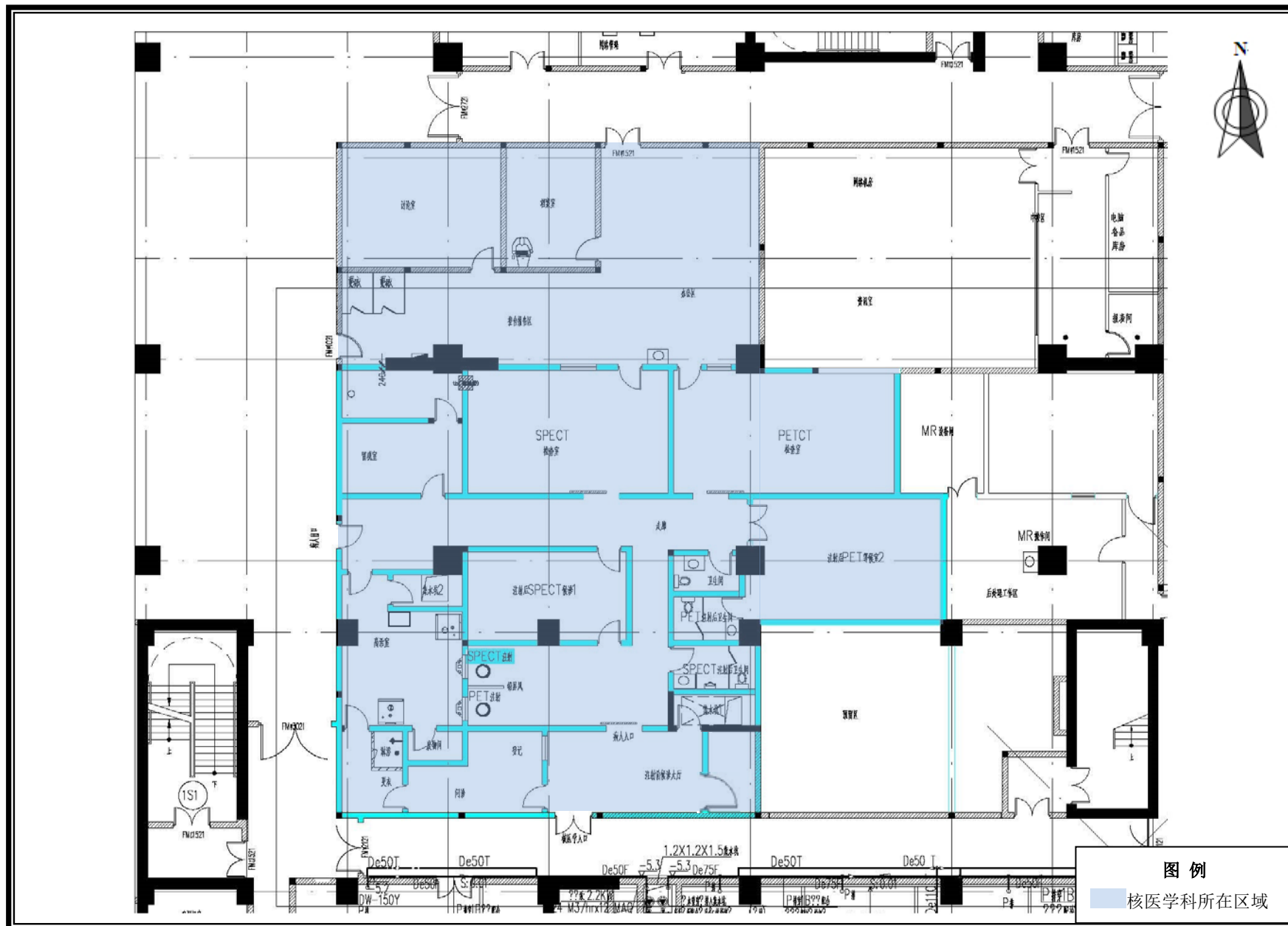


图 1-3 门诊楼负一层核医学科所在区域及周边环境状况示意图

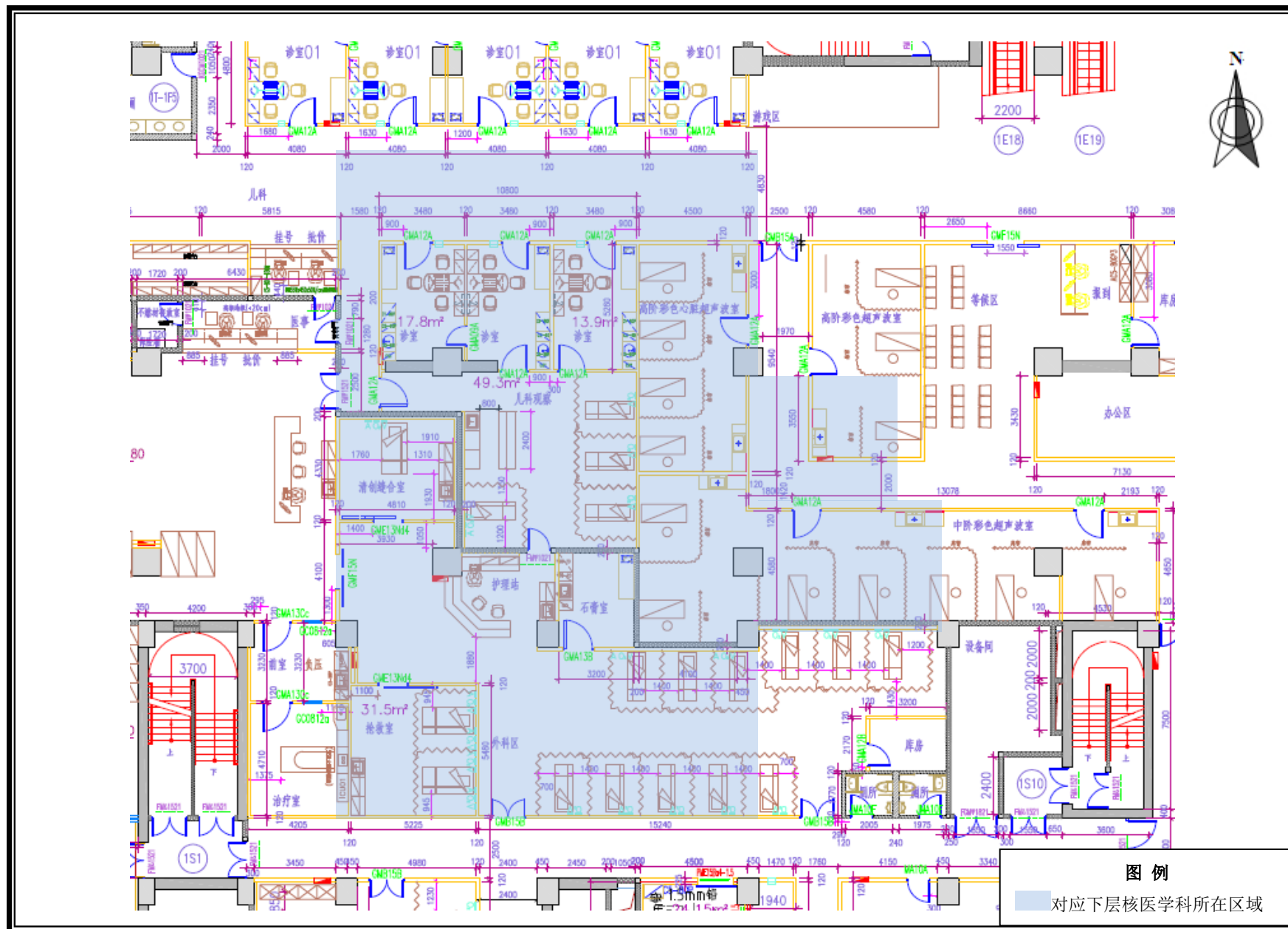


图 1-4 门诊楼一层对应核医学科所在区域上层环境状况示意图

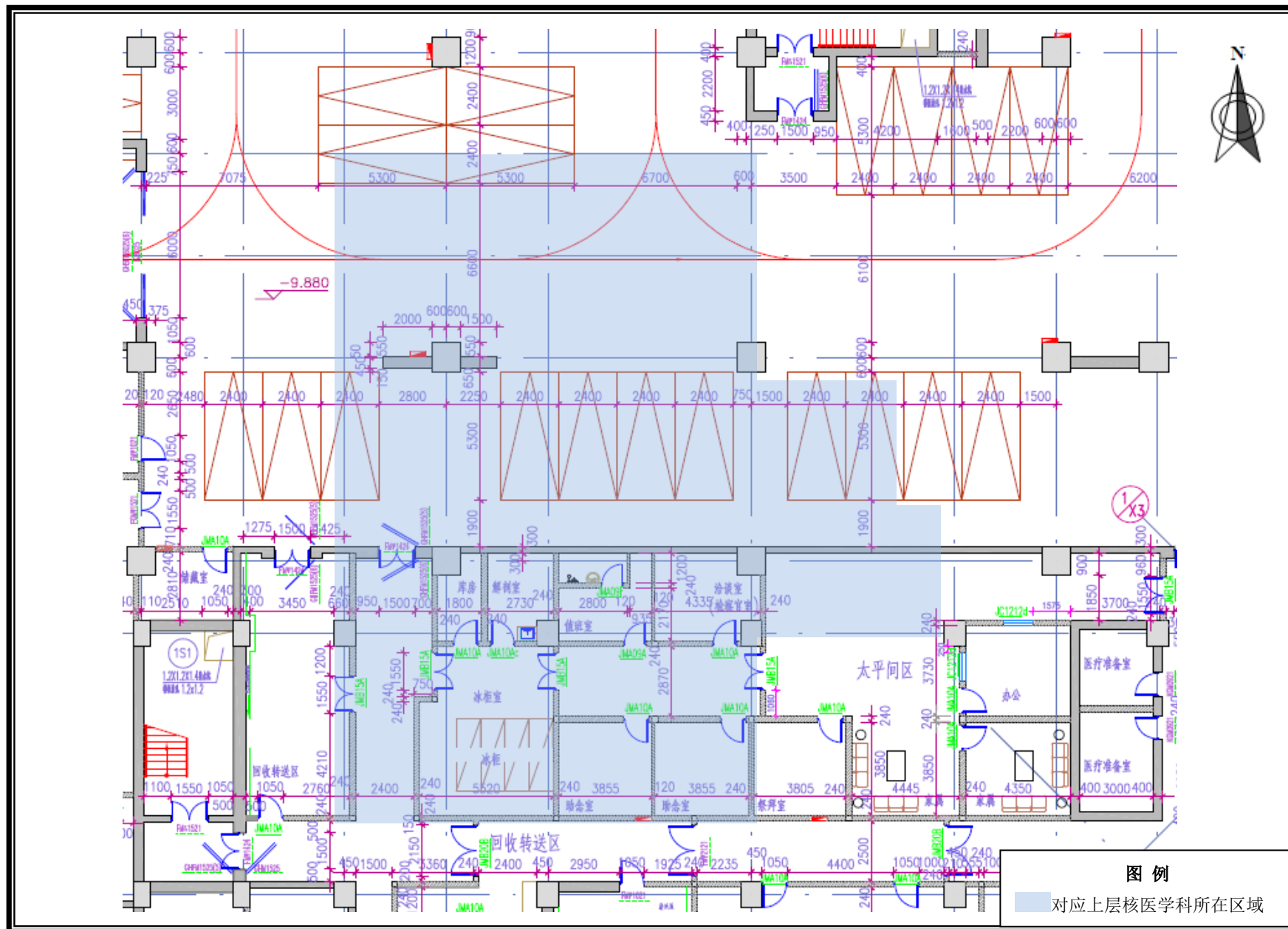


图 1-5 门诊楼负二层对应核医学科所在区域下层环境状况示意图

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度 (Bq) / 活度 (Bq) ×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何种核素以及产生的中子流强度 (n/s)。

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量 (Bq)	日等效最大操作量 (Bq)	年最大用量 (Bq)	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	¹⁸ F	液体低毒组	使用	7.40E+09	7.40E+06	1.85E+12	PET显像	简单湿法	核医学科	高活室通风橱内暂存，当日用尽，不贮存

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB 18871-2002）。

表 4 射线装置

(一) 加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量 (MeV)	额定电流 (mA) / 剂量率 (Gy/h)	用途	工作场所	备注
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

(二) X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压(kV)	最大管电流 (mA)	用途	工作场所	备注
1	PET/CT	III	1	型号待定	150	800	诊断	门诊楼地下一层核医学科 PET/CT 检查室	/

(三) 中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压 (kV)	最大靶电流 (μA)	中子强度 (n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度 (Bq)	贮存方式	数量	
/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
放射性废水	液体	^{18}F	/	约12m ³	约140m ³	总 α <1Bq/L 总 β <10Bq/L	衰变池暂存	经衰变池衰变10个半衰期，委托有资质单位监测达标后，排入医院污水站简单处理，最后排入市政污水管道
放射性废物	固体	^{18}F	/	约2.5kg	约30kg	<10 ⁴ Bq/kg	铅桶内暂存	经废物间衰变10个半衰期，监测达标后作为普通医疗废物处理
放射性废气	气体	^{18}F	/	少量，可忽略不计			高空直接排放	环境大气

注：1.常规废弃物排放浓度，对于液态单位为mg/L，固体为mg/kg，气态为mg/m³；年排放总量用kg。

2.含有放射性的废物要注明，其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L或Bq/kg或Bq/m³）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

<p>法规 文件</p>	<p>(1) 《中华人民共和国环境保护法》，中华人民共和国主席令第 9 号，2015 年 1 月 1 日实施；</p> <p>(2) 《中华人民共和国环境影响评价法》，中华人民共和国主席令第 77 号，2003 年 9 月 1 日实施（2016 年 9 月 1 日修正版施行）；</p> <p>(3) 《中华人民共和国放射性污染防治法》，中华人民共和国主席令第 6 号，2003 年 10 月 1 日实施；</p> <p>(4) 《建设项目环境保护管理条例》，中华人民共和国国务院第 253 号令，1998 年 11 月 29 日实施；</p> <p>(5) 《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》，中华人民共和国国务院第 449 号令，2005 年 12 月 1 日实施（2014 年 7 月 29 日修正版施行）；</p> <p>(6) 《建设项目环境影响评价分类管理名录》，中华人民共和国环境保护部第 33 号令，2015 年 6 月 1 日实施；</p> <p>(7) 《国家危险废物名录》，中华人民共和国环境保护部令 第 39 号，2016 年 8 月 1 日起施行；</p> <p>(8) 《关于发布射线装置分类办法的公告》，原中华人民共和国环境保护总局第 26 号公告，2006 年 5 月 30 日发布；</p> <p>(9) 《关于修改<放射性同位素与射线装置安全许可管理办法>的决定》，中华人民共和国环境保护部第 3 号令，2008 年 12 月 6 日实施；</p> <p>(10) 《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》，中华人民共和国环境保护部令 第 18 号，2011 年 5 月 1 日施行；</p> <p>(11) 《北京市辐射工作场所辐射环境自行监测办法（试行）》，北京市环境保护局文件，京环发〔2011〕347 号；</p> <p>(12) 《北京市禁止违法建设若干规定》，北京市政府第 228 号令，2011 年；</p> <p>(13) 《辐射安全与防护监督检查技术程序》，环境保护部，2012 年 3 月。</p>
------------------	--

<p>技术标准</p>	<p>(1) 《核辐射环境质量评价一般规定》（GB1215-89）；</p> <p>(2) 《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）；</p> <p>(3) 《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）；</p> <p>(4) 《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）；</p> <p>(5) 《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-93）；</p> <p>(6) 《临床核医学放射卫生防护标准》（GBZ120-2006）；</p> <p>(7) 《操作非密封源的辐射防护规定》（GB11930-2010）；</p> <p>(8) 《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）；</p> <p>(9) 《医用放射性废物的卫生防护管理》（GBZ133-2009）；</p> <p>(10) 《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）；</p> <p>(11) 《北京市医疗机构核医学放射性废物清洁解控管理办法（试行）》。</p>
<p>其他</p>	<p>医院提供的相关技术资料。</p>

表7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围及目的

(1) 评价范围

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的规定，结合本项目的现状及周边环境状况，本项目评价范围取以核医学科为中心，半径为50m的范围。

(2) 评价目的

- 1) 对建设项目周围地区环境辐射现状进行调查，评价该地区辐射环境状况；
- 2) 评价项目在营运过程中对辐射工作人员和公众成员所造成的辐射影响，分析项目运行对环境可能的影响；
- 3) 评价辐射防护措施效果，提出减少辐射危害的措施，为环境保护行政主管部门审批提供依据；
- 4) 通过对该项目辐射环境影响评价，为营运单位保护环境和公众利益给予技术支持；
- 5) 对不利影响和存在的问题提出防治措施，把辐射对环境的影响减少到“可合理达到的尽量低水平”。

(3) 评价因子

根据本项目特点，确定评价因子主要为 X 射线、 γ 射线和表面污染，以及放射性“三废”。

7.2 环境保护目标

本次核医学科改、扩建项目位于门诊楼地下一层，根据改扩建情况确定本项目的环境保护目标主要为核医学科辐射工作人员及周边区域活动的公众成员。具体环境保护目标分布见表 7-1。

表 7-1 本项目环境保护目标一览表

辐射工作场所	方位	周围场所	保护目标
核医学科	/	高活室、登记室、办公区等	辐射工作人员
	西侧	保安机房	公众成员
	南侧	放疗科	
	东侧	核磁共振检查室及预留区	
	北侧	资讯室、网络机房	
	上层	超声科	
	下层	往生室	

7.3 评价标准

7.3.1 剂量限值和剂量约束值

(1) 剂量限值

1) 职业人员和公众

执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB 18871-2002)规定, 具体限值见表 7-2。

表 7-2 个人剂量限值

辐射工作人员	公众关键人群组成员
连续 5 年的年平均有效剂量不超出 20mSv, 且任何一年中的有效剂量不超出 50mSv。	年有效剂量不超出 1mSv, 特殊情况下, 如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv, 则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。

(2) 剂量约束值

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》11.4.3.2 节, 规定了个人受照射剂量约束值, 按辐射防护最优化原则设计的年剂量控制值应小于或等于该剂量约束值。剂量约束值是剂量限值的一个分数, 公众剂量约束值通常应在 0.1~0.3mSv/a 范围内。

根据辐射防护最优化原则, 综合考虑本项目放射性同位素的叠加使用情况, 本次评价对辐射工作人员, 取年有效剂量限值的 1/4 作为年有效剂量约束值, 即 5mSv/a; 对公众成员, 取年有效剂量限值的 1/10 作为年有效剂量约束值, 即 0.1mSv/a。

7.3.2 放射性表面污染控制水平

《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》(GB18871-2002) 附录 B 中的表 B11 规定了非密封放射性物质工作场所表面污染控制要求, 见表 7-3。

表 7-3 工作场所放射性表面污染控制水平 (Bq/cm²)

表面类型		α 放射性物质		β 放射性物质
		极毒性	其它	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区	4	4×10	4×10
	监督区	4×10 ⁻¹	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区	4×10 ⁻¹	4×10 ⁻¹	4
	监督区			
手、皮肤、内感、工作袜		4×10 ⁻²	4×10 ⁻²	4×10 ⁻¹
1) 该区内的高污染子区除外				

7.3.3 非密封放射性工作场所的分级

参照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002），应将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。分级情况见表 7-4。

表 7-4 非密封源工作场所的分级

级别	日等效最大操作量/Bq
甲	$>4 \times 10^9$
乙	$2 \times 10^7 \sim 4 \times 10^9$
丙	豁免活度值以上 $\sim 2 \times 10^7$

放射性核素的日等效操作量的计算：

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量（Bq）与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。放射性核素的毒性组别修正因子及操作方式有关的修正因子分别见表 7-5 和表 7-6。放射性核素的毒性分组见附录 D（标准的附录）。

表 7-5 放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	毒性组别修正因子
极毒	10
高毒	1
中毒	0.1
低毒	0.01

表 7-6 操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	放射源状态			
	表面污染水平较低的固体	液体，溶液，悬浮液	表面有污染的固体	气体，蒸汽，粉末，压力很高的液体，固体
源的贮存	1000	100	10	1
很简单的操作	100	10	1	0.1
简单操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

7.3.4 放射性废物的处理要求

《北京市医疗机构核医学放射性废物清洁解控管理办法（试行）》中对核医学科放射性固废、放射性废液的清洁解控处理提出了明确要求。具体如下：

（1）放射性固废的清洁解控处理要求

①含 A 类核素、含 B 类核素的放射性固体废物在暂存室内暂存衰变时间分别超过 30 天、10 倍最长半衰期（碘-131 核素病房治疗产生废物至少暂存 180 天）后，可使用经检定合格的监测仪器对废物的表面污染和辐射剂量率水平进行监测。

②监测结果未发现异常且与所处环境监测数值处于同一水平的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理。

③在放射性固体废物暂存、处置管理台账上详细记录解控废物的核素名称、重量、废物暂存起始日期、废物处置人员和处置日期等信息。

(2) 放射性废液的清洁解控处理要求

槽式衰变池（罐）暂存方式：仅含 A 类核素的放射性废水在暂存时间超过 30 天后可直接解控排放。含 B 类核素的放射性废水在暂存时间超过 10 倍最长半衰期（碘-131 核素病房治疗产生废水至少暂存 180 天）后，应委托有资质的检测机构（CMA 或 CNAS）对拟排废水进行检测，排放总量和排放方式按照《电离辐射防护与辐射安全基本标准》（GB18871-2002）中、低放废液排放的有关规定执行。

7.3.3 X 射线装置辐射剂量率控制水平

根据《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）第 5.4 款：在距机房屏蔽体外表面 0.3m 处，周围剂量当量率控制目标值应不大于 2.5 μ Sv/h。

7.3.4 X 射线设备机房的空間要求

根据《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）第 5.2 及 5.3 款，X 射线机应设置单独的机房，机房应满足使用设备的空间及屏蔽要求。相关要求见表 7-7 及表 7-8。

表 7-7 不同类型 X 射线机房的屏蔽防护要求

机房类型	有用线束方向铅当量 (mm)	非有用线束方向铅当量 (mm)
CT 机房	2（一般工作量）、2.5（较大工作量）	

表 7-8 X 射线设备机房（照射室）使用面积及单边长度

设备类型	机房内最小有效使用面积 (m ²)	机房内最小单边长度 (m)
CT 机	30	4.5

表 8 环境质量和辐射现状

北京清华长庚医院已于 2017 年 4 月 20 日委托浙江建安检测研究院有限公司对现有核医学科工作场所进行了辐射环境检测，并出具了检测报告，报告编号为 GABG-CF17230317-1（详见附件 6）。根据报告中检测结果可知，现有核医学科正常运行状态下， γ 辐射空气吸收剂量率检测结果最高为 $0.40\mu\text{Sv/h}$ ， β 表面污染检测结果控制区最高为 0.95 Bq/cm^2 ，监督区最高为 0.28 Bq/cm^2 ，满足《电离辐射与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中相关标准要求。

为掌握本次改扩建项目工作场所的辐射水平，我单位参考浙江建安检测研究院有限公司出具的检测报告，同时对扩建的 PET/CT 检查室、PET/CT 候诊室所在位置及周边环境保护目标处进行了辐射环境现状检测（检测报告详见附件 7）。

8.1 检测内容

γ 辐射空气吸收剂量率

8.2 检测时间

检测时间：2017 年 6 月 20 日

8.3 检测方法

本次背景检测方法主要依据《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T 14583-93）和《辐射环境监测技术规范》（HJ/T 61-2001）中提供的方法。

8.4 检测仪器

根据《电离辐射质量保证一般规定》（GB8999-1988）和《辐射环境监测技术规范》（HJ/T61-2001）中有关辐射环境监测质量保证一般程序和我公司的质量体系文件（包括质量手册、程序文件、作业指导书）实行全过程质量控制，保证此次检测结果科学、有效。

检测质量保证主要内容有：

①本项目根据《辐射环境监测技术规范》(HJ/T61-2001)在核医学科拟改扩建 PET/CT 检查室、PET/CT 候诊室所在位置及周边环境保护目标处布置检测点，保证各检测点位布设的科学性；

②检测方法采用国家有关部门颁布的标准；

③检测仪器已经计量部门检定合格，检定有效期为 2016 年 9 月 19 日~2017 年 9 月 18 日；

④每次测量前后均检查仪器的工作状态是否良好；

⑤由检测人员按操作规程操作仪器，并做好记录；

⑥检测报告严格实行三级审核制，经过校对、审核，最后由授权签字人审定签发。

8.5 检测仪器

本次检测采用 JB4000 型智能化 X- γ 辐射空气比释动能率仪，《环境地表 γ 辐射剂量率测量规范》（GB/T14583-93）与本次检测仪器参数对比一览表见表 8-1。

表 8-1 《环境地表 γ 辐射剂量率测量规范》中对检测仪器要求和本次检测仪器性能参数对比一览表

	检测规范（GB/T14583-93）中要求	本次检测仪器性能
仪器名称	/	X- γ 辐射空气比释动能率仪
仪器型号	/	JB4000
生产厂家	/	上海精博工贸有限公司
能量响应	在 50KeV~3MeV 相对响应之差 $\leq\pm 30\%$ （相对 ^{137}Cs 参考 γ 辐射源）	在 48KeV~3MeV 范围内误差 $-30\%\sim 30\%$
相对基本误差	相对固有误差： $\leq\pm 15\%$	$-10\%\sim 10\%$
量程	低量程： $1\times 10^{-8}\text{Gy/h}\sim 1\times 10^{-5}\text{Gy/h}$ 高量程： $1\times 10^{-5}\text{Gy/h}\sim 1\times 10^{-2}\text{Gy/h}$	检测范围： $0.01\mu\text{Sv/h}\sim 200.00\mu\text{Sv/h}$ 累积剂量： $0.00\mu\text{Sv}\sim 9999.99\mu\text{Sv}$
读数显示	/	剂量率： $\mu\text{Sv/h}$ 、 $\mu\text{Gy/h}$
温度	$-10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ （即时测量仪表）， $-25\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ （连续测量仪表）	/
相对湿度	95%（ $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ）	/

8.6 检测布点及检测结果

按《辐射环境监测技术规范》（HJ/61-2001）和《环境地表 γ 辐射剂量率测定规范》（GB/T14583-93）中的有关布点原则和方法，结合本次检测的实际情况，选取医院核医学科拟改扩建工作场所及周边环境保护目标处进行布点检测。检测结果见表 8-2。

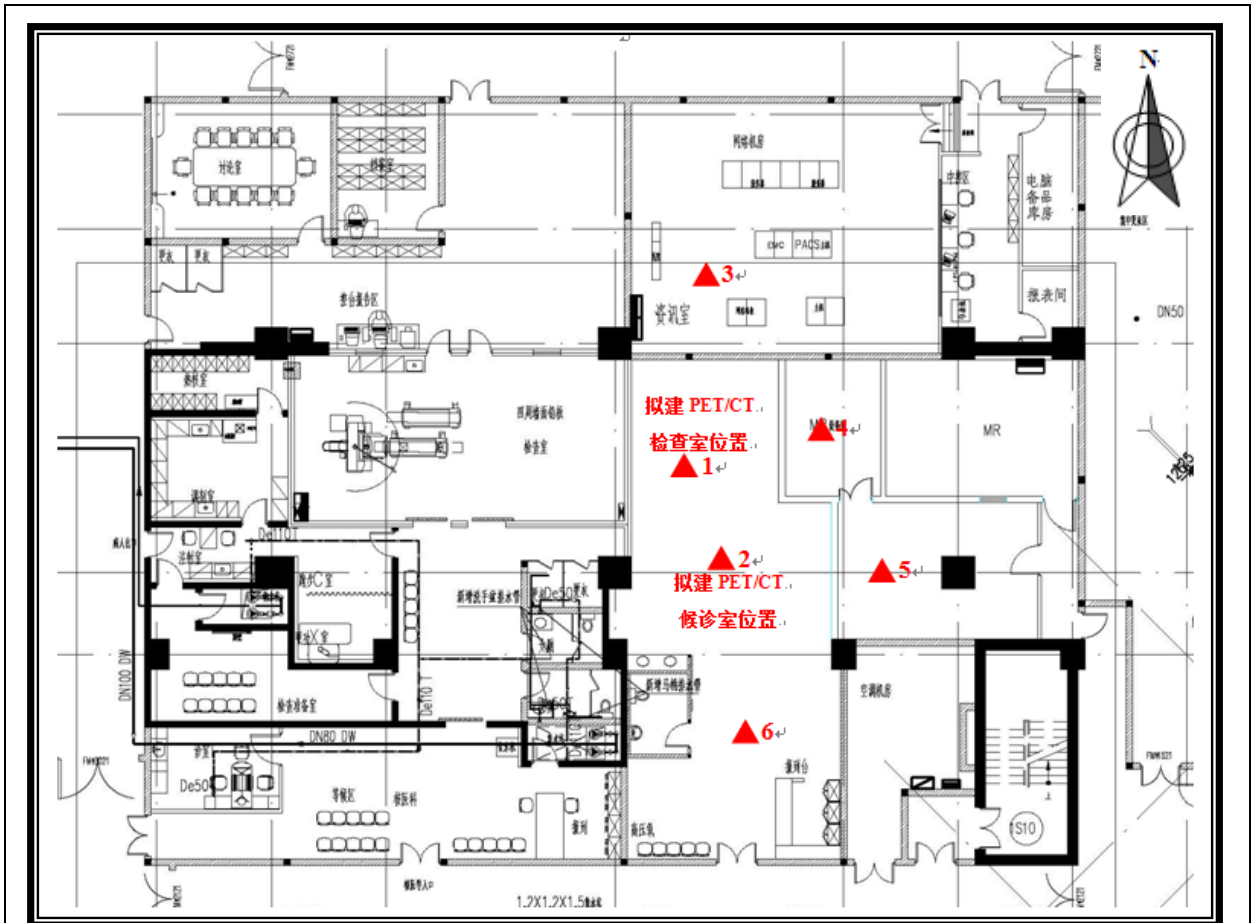


图 8-1 核医学科拟改扩建工作场所及周边环境辐射背景检测点位示意图（▲检测点位）

表 8-2 核医学科拟改扩建工作场所辐射环境背景检测结果一览表

序号	监测点位	监测平均值 ($\mu\text{Sv/h}$)
1	拟改扩建 PET/CT 检查室位置	0.11
2	拟改扩建 PET/CT 候诊室位置	0.12
3	资讯室	0.10
4	核磁共振设备间	0.12
5	核磁共振操作间	0.13
6	拟设置预留区	0.12

检测结果表明，在核医学科拟改扩建工作场所及周边环境保护目标处测得的 γ 辐射空气吸收剂量率检测平均值范围为 $(0.10\sim 0.13) \mu\text{Sv/h}$ ，属当地天然本底辐射水平。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 工程设备和工艺分析

9.1.1 工程概况

本项目为改、扩建项目，拟在门诊楼地下一层原有核医学科及周边相关建筑结构基础之上进行改造，并拟配备 1 台 PET/CT，增加使用放射性同位素药物 ^{18}F 。主要改造内容为：将高活室位置变更至走廊南侧，增设 1 间 PET/CT 检查室及 1 间注射后 PET/CT 候诊室。

9.1.2 PET/CT 工作原理及流程

9.1.2.1 PET/CT 工作原理

PET/CT 是继 CT 和核磁（MRI）之后应用于临床的一种新型的影像，PET/CT 利用人体代谢所必需的物质作出标记，在此根据之上的运用 CT 的断层扫描优势来进行更精确的病灶定位。PET/CT 是目前惟一可在活体上显示生物分子代谢、受体及神经介质活动的新型影像技术，现已广泛用于多种疾病的诊断与鉴别诊断、病情判断、疗效评价、脏器功能研究等方面。其临床显像过程为：将发射正电子的放射性核素（ ^{18}F ）标记到能够参与人体组织血流或代谢过程的化合物上，将标有带正电子化合物的放射性核素注射到受检者体内。让受检者在 PET 的有效视野范围内进行 PET 显像。

PET/CT 示意图见图 9-1。



图 9-1 PET/CT 示意图

9.1.2.2 PET/CT 设备组成

PET/CT系统的主要部件包括机架、环形探测器、符合电路、检查床及工作站等。探测系统是整个正电子发射显像系统中的主要部分，它采用的块状探测结构有利于消除散射、提高计数率。

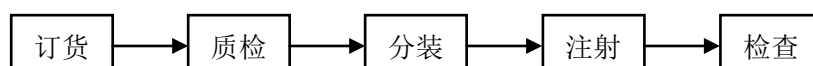
9.1.2.3 PET/CT操作流程

PET/CT 在实际工作中的流程为：1、接诊；2、预约检查时间；3、病人空腹 6h 以上，测身高、体重、血糖；4、病人平躺于休息间；5、建立静脉通道；6、注射核素；7、在候诊室平静休息；8、病人进入机房，按扫描要求摆体位；9、开始扫描。扫描结束后，病人进入留观室内休息，医生做出诊断报告，由审核医生签字，检查结束。

9.1.3 ^{18}F 作为显像剂进行PET诊断的工作原理

放射性核素 ^{18}F 作为短半衰期的核素，用作标记某些特殊的化合物并经静脉注入人体。核素在人体的靶器官与非靶器官、正常组织与病变组织中存在分布上的差异，所以不同器官或组织释放出的 γ 射线强弱不同。这些强弱不同的 γ 射线可以被PET/CT采集，转变成三维图像在PET/CT上显示出来。

核医学科对放射性核素的工作流程如下：



(1) 订货：根据预约的检查人数及检查项目，提前一天向药品公司订购 ^{18}F 放射性药物（试剂厂家送来时是整装，使用时需要根据实际情况进行分装）。

(2) 质检：药品公司负责把药品送至核医学科的卸货区。质检人员核对放射性药物名称、规格和数量，检查包装和外观质量，在摄像头监控下，“点对点”办理交接手续，暂存于分装室通风橱内。

(3) 分装： ^{18}F 标记的放射性药物通常需要在通风橱内分装。

(4) 注射：在注射室内，取出一次性注射器，给患者标记放射性药物，然后将使用过的注射器置于铅废物桶内暂存。

(5) 检查：病人在给药后 PET/CT 候诊室等候（30min~90min），待药物在身体内有

一定程度的代谢后，进行 PET 扫描检查。

受检者在扫描检查后，经观察无不良反应即可离开，如有不适则在留观室观察。

9.2 污染源项描述

9.2.1 射线装置的污染源项

PET/CT属于医用III类射线装置，主要污染因子为X射线。正常情况下，PET/CT只有在开机并处于出束状态时才会发出X射线。在开机出束时，贯穿和漏射、散射的X射线对周围环境造成辐射污染。在X线机使用过程中，X射线贯穿机房的屏蔽设施进入外环境中，将对操作人员及机房周围人员生产造成辐射影响。

PET/CT检查室内的空气在X射线电离作用下会产生少量O₃和NO_x气体，在工作场所各房间设置了机械通风系统的情况下，产生的少量O₃和NO_x气体基本不会对周边环境产生影响。

9.2.2 放射性核素的污染源项

放射性核素¹⁸F半衰期为109.6min，衰变方式为EC和β⁺，β⁺粒子在体内经湮灭辐射产生两个方向相反和能量均为511keV的γ光子。

放射性核素¹⁸F操作过程中会产生注射器、废药剂瓶、棉棒、一次性手套等放射性固体废物；工作场所病人排泄及室内清洁时会产生放射性废液；放射性药物因分装挥发会产生放射性废气。

因此，本项目的主要污染因子为X射线、γ射线、表面污染及放射性“三废”。

9.2.3 污染途径

9.2.3.1 正常工况下的污染途径

(1) PET/CT:

①当X射线管发射的电子轰击靶物质时，产生韧致辐射，即X射线。X射线经透射、漏射和散射，对作业场所及其周围环境产生辐射影响；

②空气在X射线的作用下，吸收能量并通过电离作用产生少量的O₃和NO_x等气体。

(2) 放射性核素:

①¹⁸F扫描检查前，部分“给药病人”在进行动态观察时候，可能会去卫生间而产生一定量的放射性排泄物。

②核医学科在运行中会产生少量的放射性固体废物，如一次性手套、口罩、棉签等，集中收集于核医学科铅废物桶内。

③放射性药物挥发产生极少量的放射性气体，但一般不会造成工作环境的空气污染。

④在病人候诊区、分装区以及PET机房等辐射工作场所周围停留的公众可能受到¹⁸F等放射性同位素释放的γ射线的贯穿辐射影响。

9.2.3.2 事故工况下的污染途径

①因容器破碎，药物泼洒等，有可能污染工作台、地面、墙壁、设备等，甚至造成手和皮肤的污染。泼洒的药物挥发将产生少量放射性废气；污染洗消和清除将产生少量的放射性固体废物；

②因保管不善，放射性同位素发生被盗和丢失事件，导致潜在照射的发生；

③放射性废物处置或管理不当，造成环境放射性污染。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1 工作场所布局与分区

该项目涉及的工作场所位于门诊楼地下一层核医学科，核医学科楼上为超声科，楼下为往生室，西侧为保安机房，南侧为放疗科，东侧为核磁共振检查室及预留区，北侧为网络机房。

核医学科按照使用功能区划设计，具体设计图纸见图 10-1。其中，高活室、废物间、SPECT/CT 检查室、PET/CT 检查室、候诊室、病人卫生间、留观室、病人通道等作为控制区进行管理；注射前候诊大厅、登记/问诊室、更衣室、SPECT/CT 及 PET/CT 控制室作为监督区进行管理。

10.1.2 实体屏蔽

核医学科各房间四周墙体均采用 24cm 的混凝土现浇，顶棚采用 18cm 的混凝土进行屏蔽，地板采用 30cm 的混凝土屏蔽，防护门、观察窗采用 8mmPb 进行屏蔽（部分区域为 4mmPb），具体详见表 10-1。

表 10-1 本项目辐射工作场所各屏蔽体参数一览表

房间名称	使用功能	辐射屏蔽设计	
高活室	药物分装、注射	四周墙体	24cm 的混凝土
		顶棚	18cm 的混凝土
		地板	30cm 的混凝土
		防护门	8mmPb
		注射窗	8mmPb
废物间	暂存放射性固废	四周墙体	24cm 的混凝土
		顶棚	18cm 的混凝土
		地板	30cm 的混凝土
		防护门	8mmPb
SPECT-CT 检查室	SPECT-CT 检查	四周墙体	24cm 的混凝土
		顶棚	18cm 的混凝土
		地板	30cm 的混凝土
		防护门	4mmPb
		观察窗	4mmPb

续表 10-1 本项目辐射工作场所各屏蔽体参数一览表

房间名称	使用功能	辐射屏蔽设计	
SPECT-CT 候诊室	SPECT-CT 检查候诊	四周墙体	24cm 的混凝土
		顶棚	18cm 的混凝土
		地板	30cm 的混凝土
		防护门	北侧防护门为 4mmPb，南侧防护门为 8mmPb
PECT-CT 检查室	PECT-CT 检查	四周墙体	24cm 的混凝土
		顶棚	18cm 的混凝土
		地板	30cm 的混凝土
		防护门	8mmPb
		观察窗	8mmPb
PECT-CT 等候室	PECT-CT 检查候诊	四周墙体	24cm 的混凝土
		顶棚	18cm 的混凝土
		地板	30cm 的混凝土
		防护门	8mmPb
病人卫生间	注射药物后病人卫生间	四周墙体	24cm 的混凝土
		顶棚	18cm 的混凝土
		地板	30cm 的混凝土
		防护门	8mmPb
留观室	病人留观	四周墙体	24cm 的混凝土
		顶棚	18cm 的混凝土
		地板	30cm 的混凝土
		防护门	8mmPb
集水坑室	临时收集放射性废液	四周墙体	24cm 的混凝土
		顶棚	18cm 的混凝土
		地板	30cm 的混凝土
		防护门	8mmPb
其他配套用房	辅助房间	四周墙体	24cm 的混凝土
		顶棚	18cm 的混凝土
		地板	30cm 的混凝土
		防护门	普通门
病人通道防护门	病人通道屏蔽、控制区 实体边界	病人入口防护门	8mmPb
		病人出口防护门	8mmPb
其他通道处防护 门	控制区、监督区实体边 界	防护门	普通门

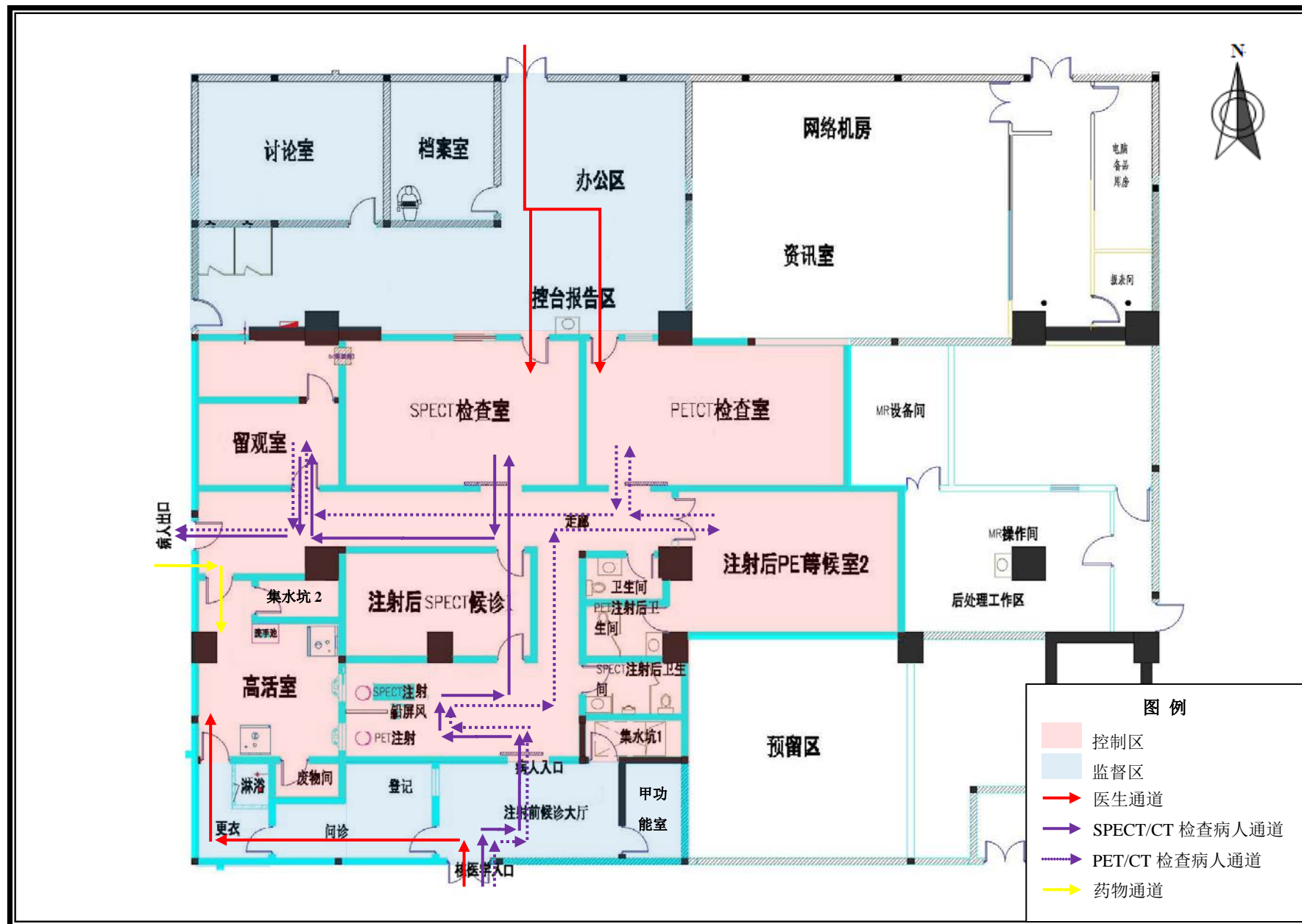


图 10-1 核医学科改扩建规划示意图

10.1.3 工作流程及路线

(1) 患者就诊流程

从核医学科南侧核医学科入口进入工作场所→在登记/问诊室登记，候诊大厅候诊→通过门禁进入控制区，在注射室窗口接受注射→等候室候诊→SPECT/CT（PET/CT）扫描检查→留观室留观→由病人通道出口离开核医学科工作场所。

(2) 工作人员流程

SPECT/CT（PET/CT）操作人员和摆位人员：从核医学科北侧防护门进入工作场所→更衣→在操作台处操作设备、在机房内对病人进行摆位→工作完毕，更衣→由原通道离开。

药物分装和注射人员：从核医学科南侧核医学科入口进入工作场所→在更衣室更衣→高活室内分装药物，给患者注射→工作完毕，在更衣室更衣→由核医学科南侧出口原路离开。

(3) 放射性药物流转路线

有资质的供货公司将放射性药物运送至核医学科西侧病人通道出口处，之后人工搬运至高活室，在此处办理药物交接手续，核对放射性药物规格和数量，办理签收。药品交接完毕后，将放射性药品转移至高活室通风橱内暂存备用。

10.1.4 辐射安全与防护措施

为使辐射工作人员和公众所接受的剂量保持在可合理达到的最低水平，北京清华长庚医院在辐射安全与防护管理方面拟采取以下污染防治措施：

(1) 本次改扩建拟对现有核医学科工作场所进行改造，为尽可能减少病人通道与医生通道的交叉，更合理的布局核医学科场所，拟将高活室位置变更至病人通道南侧（原候诊室），原高活室改为病人留观室。同时，因放射治疗需要，拟增设 PET/CT 检查室及 PET/CT 候诊室。

(2) 在病人通道、医生通道出入口及高活室、检查室等各房间均拟设置铅防护门（或隔离门），各房间墙体均为混凝土墙，确保各区域之间有墙体或防护门（隔离门）作为实体边界。对核医学科实行分区管理，划分控制区和监督区。在控制区出入口处分别安装单向门禁系统，防止无关人员进入控制区。

(3) 拟在高活室设置 2 个通风橱，放射性药品的分装均在通风橱内进行；通风橱的风道为独立的管道，风速不低于 1m/s。

(4) 注射台面、室内地面均采用 PVC 等易去污材料无缝铺设，注射台设置承接盘、衬垫等辅助物品。在高活室、候诊室等处设置共 6 个铅废物桶，用于收集产生的注射器、药瓶、一次性手套等固体废物，尽量减少放射性药物操作和贮存场所的贯穿辐射水平，保证周围环境的辐射水平处于可合力达到的最低水平。

(5) 核医学科设置有废物间、集水坑及机械通风系统，分别对产生的放射性固废、废液、废气进行收集（处理）。

(6) 拟在核医学科各通道出入口、各防护门处、通风橱、固废桶等处设置规范的电离辐射警告标志；在注射区、病人通道出入口、等候室、留观室等处设置病人引导标语。

10.2 三废治理

(1) 放射性固废治理措施

病人注射使用后的空药瓶单独收集，暂存于高活室铅废物桶内，待放射性药物当面签收时交由原生产厂家回收。核医学科产生的注射器、棉棒、一次性手套等其他放射性固体废物均集中收集于铅废物桶内，待收集至一定量后取出封装，标明日期、核素种类，转移至废物间储存衰变，待衰变 10 个半衰期，经检测合格后，可作为普通医疗废物进行处理。

(2) 放射性废液治理措施

核医学科产生的放射性废液主要为给药病人专用卫生间产生的冲厕废水、高活室产生的极少量的放射性废液等。废液经独立的排放管道（使用 3mm 铅进行包裹）排入核医学科集水坑（共 2 个，每个可用容积约 4.5m^3 ），待集水坑内液位达到控制液面后，自动排入核医学科西侧衰变池（共 2 个，每个可用容积约 100m^3 ）内进行衰变。待衰变 10 个半衰期，经有资质单位检测合格，排入医院污水处理站处理后排放市政污水收集管网。

按改扩建项目规划，核医学科每日最多可接待 50 位病人。按每位病人每日产生放射性废水 10L，以本项目最长半衰期核素 ^{131}I 为基准（半衰期为 8.04 天），核医学科病人在 10 个半衰期内产生放射性废水量为 $50 \times 10 \times 8.04 \times 10 / 1000 = 40.2\text{m}^3$ 。高活室分装、配药及核医学科打扫卫生废水按每天 50L 计算，则 10 个半衰期内产生的放射性废水量为 $50 \times 8.04 \times 10 / 1000 = 4.02\text{m}^3$ 。核医学科在 10 个半衰期内产生的放射性废水总量为 44.22m^3 ，小于单个衰变池 100m^3 的容量，表明医院衰变池可用容积能满足项目废水衰变体积的要求。

集水坑和衰变池的六面屏蔽体均采用 12cm 的混凝土进行屏蔽，内部均采用三油两布的环氧树脂玻璃钢作防酸、防渗漏处理。另外，衰变池内安装有废液监测装置及高液位报

警信号，用于监测池内废液液位，防止废液溢出。衰变池采用间歇式的工作模式，进水管路上设置自动控制阀，出水采用潜水泵提升排水。运行时第二个衰变池的阀门处于关闭状态，使废水进入第一个衰变池，待第一个衰变池达到设计液位后，通过池内设置的高液位报警信号，自动关闭第一个衰变池进水管路上的控制阀，同时打开第二个衰变池进水管路上的控制阀，废水进入第二个衰变池。

排放方法：开动池内配置的潜污泵，将第一衰变池的废水排入室外污水管网，进入医院污水处理站进一步处理，之后排入市政污水管网。待第二个衰变池达到设计液位后，重复用第一个衰变池贮水，而第二个衰变池衰变一定时间后准备排水，依次循环。

放射性废水收集排放流程及衰变池建筑结构如图 10-3 及图 10-4 所示。

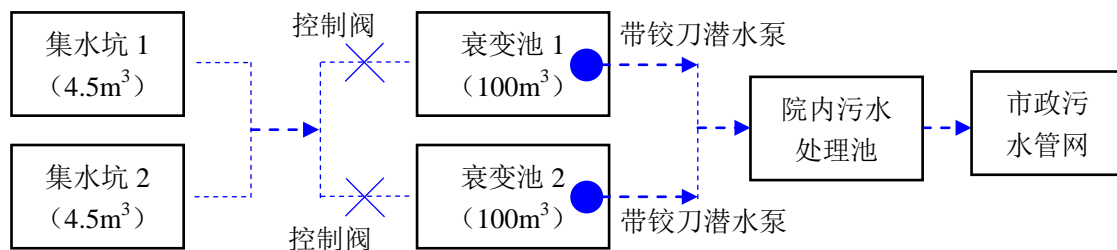


图 10-3 放射性废水收集排放示意图

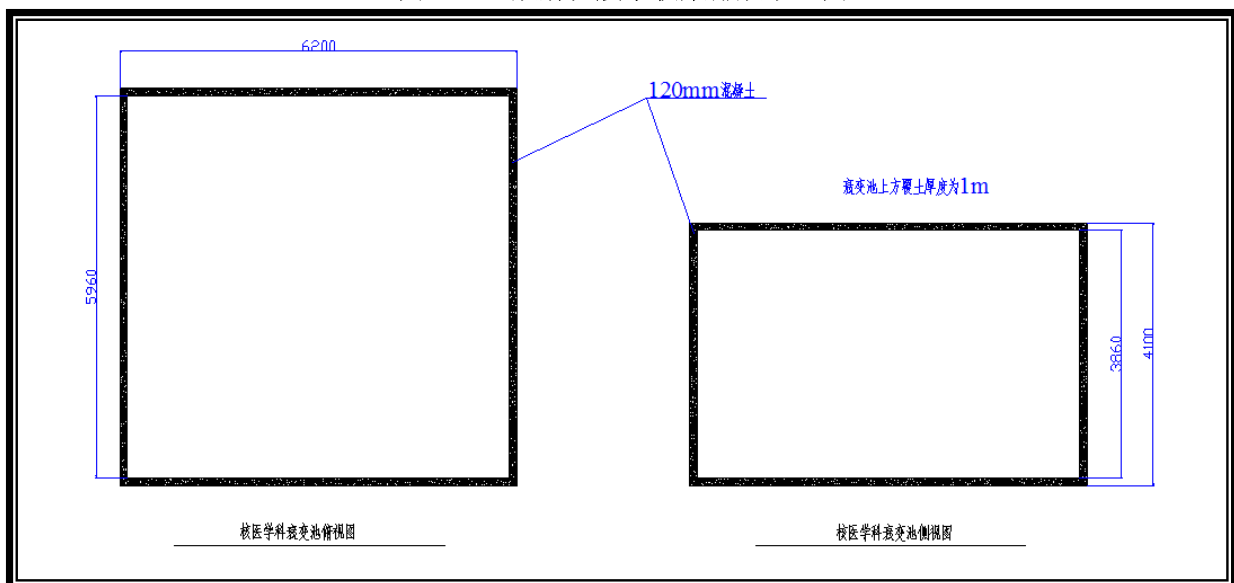


图 10-4 核医学科衰变池建筑结构示意图

(3) 放射性废气治理措施

核医学科放射性药物存在一定程度的挥发，会在核医学科区域产生放射性废气。本项目排风系统拟分为 3 个部分，分别为高活室通风橱内排风系统、核医学科各污染区房间的排风系统、核医学科清洁区通风系统。其中，高活室通风橱通风管道与污染区各房间的通风管道汇集至一处，总管处设置过滤装置，废气过滤后经高出大楼顶层 3m 的管道排出。

排风管道材质为镀锌钢板，支管安装手动风量调节阀，总管安装电动风量调节阀及止回阀。另外，核医学科清洁区通风管道与医院其他清洁区通风系统管道相连，直接排放至大气中。

医院拟为改建后核医学科配备的辐射安全防护设施见表 10-2。

表 10-2 核医学科工作场所拟配备的辐射安全防护设施设计核查表

序号	检查项目		设计建造	备注
1	A 场所设施	场所分区标识	√	/
2		场所电离辐射警示标志	√	/
3		出入口有相应的标识和说明	√	/
4		场所内文字说明、灯光/声响等警示	√	/
5		安全保卫设施（贮存场所必须）	√	/
6		通风设施（通风橱/手套箱、记录的流速）	√	高活室设带屏蔽设计的通风橱
7		注射或口服取药用屏蔽	√	注射操作台
8		专用卫生、淋浴设施及下水（乙级场所）	√	专用卫生间及排水管线
9		放射性下水系统标识	√	/
10		放射性同位素暂存库或设施	√	源库、铅罐
11		放射性下水系统或暂存设施	√	集水池及衰变池
12	B 监测设备	便携式监测仪器仪表（污染、辐射水平等）	√	/
13		个人剂量计	√	/
14		个人剂量报警仪	√	/
15		放射性活度计	√	/
16	C 个人防护	防护手套、口罩等	√	/
17		放射性表面去污用品和试剂	√	/
18	D 放射性废物和废液	放射性固体废物和废液贮存设施	√	/
19		放射性固体废物暂存间	√	/
20		废物暂存间屏蔽措施	√	墙体屏蔽
21		通风系统	√	分为高活室通风橱排风系统、其他污染区排风系统、清洁区排风系统三个部分
22	E 应急物资	辐射监测仪器	√	/
23		去污用品和试剂	√	/
24		必备的警示标志和标识线	√	/
25		合适的灭火器材	√	/

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目是对原有核医学科场所进行改造，属于室内作业。建设阶段主要有声环境、空气环境、水环境和固体废物的影响。

11.1.1 声环境影响

本项目建设阶段的噪声来自核医学科墙体建设、相关设施的安装调试等阶段中，但该评价项目的建设期较短，对周围环境影响较小，且噪声会随施工结束而消失。因此，只要合理安排施工时间，对周围环境的影响不大。

11.1.2 环境空气影响分析

在整个建设阶段，扬尘来自材料运输和装卸等施工活动，由于扬尘多且分散，属无组织排放。受施工方式、设备、气候等因素制约，产生的随机性和波动性大，但土建工程结束后即可恢复。

11.1.3 水环境影响分析

本项目建设阶段污水来自施工人员的生活污水和少量施工废水，对此，施工单位应对施工废水进行妥善处理，在工地适当位置设置简易沉砂池对施工废水进行澄清处理，清水外排，淤泥妥善堆放。

11.1.4 固体废物的影响分析

建设阶段固体废物主要为施工人员的生活垃圾和建筑垃圾。生活垃圾和建筑垃圾应分别堆放，并委托环卫部门妥善处置，及时清运或定期运至环卫部门指定的地点安全处理，可以使建设阶段的固体废物处于可控状态。

综上所述，本项目在建设阶段的环境影响具有暂时性、可逆性的特点。且因本项目工程量较小，施工期基本在厂区内进行，对室外环境和周边人群的影响较小，故不进行详细评价。

11.2 运行阶段对环境的影响

本项目核医学科改扩建项目在运行阶段的环境影响主要为：SPECT/CT 及 PET/CT 使用过程中产生的 X 射线，放射性核素使用过程中产生的 γ 射线、表面污染，核医学科运行过程中产生的放射性“三废”。

11.2.1 辐射环境影响分析

(1) SPECT/CT 及 PET/CT 运行的环境影响分析

本项目 SPECT/CT 及 PET/CT 均属于 III 类 X 射线装置，因此需考虑 X 射线对周边环境的影响。《医用 X 射线诊断放射防护要求》（GBZ130-2013）中对 X 射线机房屏蔽厚度规定如表 11-1。

表 11-1 不同类型 X 射线设备机房的屏蔽防护铅当量厚度要求

机房类型	有用线束方向铅当量 mm	非有用线束方向铅当量 mm
CT 机房	2（一般工作量）/2.5（较大工作量）	

在不同管电压条件下，铅对混凝土的屏蔽换算是不同的。根据《辐射防护技术与管理 电离辐射防护技术与管理》（张丹枫、赵兰才 第一卷）可知，本项目 SPECT/CT 及 PET/CT 在满负荷运行时，铅对混凝土的换算及本项目设计屏蔽情况见表 11-2。

表 11-2 本项目射线装置满负荷运行时铅对混凝土的换算及本项目设计屏蔽情况一览表

场所名称	管电压 (kV)	2mmPb 所需的混凝土厚度 (mm)	机房顶部设计混凝土厚度 (mm)	是否符合
SPECT/CT 检查室	140	180	180	符合一般工作量时的防护要求
PET/CT 检查室	150	190	180	不符合

根据表 11-2 可知，SPECT/CT 检查室顶棚设计屏蔽材料符合一般工作量的防护要求，PET/CT 检查室顶棚设计屏蔽材料不符合防护要求。考虑核医学科上层公众成员的长期居留，建议在 SPECT/CT 及 PET/CT 检查室顶棚均增加 2mmPb 的屏蔽材料。

(2) 放射性药物使用过程中对环境的影响分析

计算公式：

$$d = \text{TVL} \cdot [\lg(H_s/H_p)] \quad \dots\dots\dots \text{（公式 11-1）}$$

$$H_s = A \cdot \tau / R^2 \quad \dots\dots\dots \text{（公式 11-2）}$$

式中：d——符合剂量率目标要求的墙体屏蔽厚度，mm；

TVL—— γ 射线在防护材料中的十分之一值层厚度，mm；

A——源项活度，Bq；

τ ——源项剂量率常数， $\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ；

R——参考点与源项的距离，m；

H_p ——对参考点处要求的瞬时剂量率控制水平， $\mu\text{Sv/h}$ ；

H_s ——距R点处 γ 外照射剂量率， $\mu\text{Sv/h}$ 。

本项目共使用 ^{131}I 、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 ^{18}F 三种核素，放射性核素在衰变过程中会产生不同能量的射线。其中， ^{131}I 的最大给药量为0.333MBq，衰变能量为365KeV（ γ ：82%）； $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的最大给药量为925MBq，衰变能量为140KeV（ γ ：89%）； ^{18}F 的最大给药量为370MBq，衰变能量为511KeV（ γ ：193%）。

核医学科工作场所拟采用混凝土、铅玻璃、铅防护门为主要屏蔽材料进行防护。对于放射性药物的屏蔽，综合考虑三种核素的使用量及衰变能量等因素，高活室的场所防护主要考虑 ^{18}F ，SPECT/CT检查室及候诊室的场所防护主要考虑 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ，PET/CT检查室及候诊室的场所防护主要考虑 ^{18}F ，留观室防护主要考虑 ^{18}F 。SPECT/CT及PET/CT候诊室一般1个小时内最多可以同时接受3名患者同时候诊，计算时应考虑3名患者的叠加效应。另外，SPECT/CT和PET/CT检查室还应考虑X射线贯穿辐射的影响。

本报告参考《PET/CT诊断学》（潘中允）建议的剂量率常数（资料来源：AAPM Task Group 108:PET and PET/CT Shielding Requirements），对于 ^{18}F 的剂量率常数，注射前为 $0.143\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ，注射后为 $0.092\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 。参考《辐射安全手册》（潘自强主编）提供的资料，对于 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 的剂量率常数为 $0.0184\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ ，对于 ^{131}I 的剂量率常数为 $0.0522\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 。

本项目对各放射性核素所取的相关参数见表11-3。

表 11-3 放射性核素相关取值一览表

核素	最大单次给药量 (MBq)	衰变能量 (KeV)	剂量率常数 ($\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$)	混凝土 TVL (mm)	铅 TVL (mm)
^{131}I	0.333	365	0.0522	153	10
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	925	140	0.0184	110	1
^{18}F	370	511	注射前 0.143 注射后 0.092	176	16.6

考虑到核医学科工作人员和周边区域公众的心理负担，对核医学科顶棚上方、底板下方关注点处剂量率按 $0.5\mu\text{Sv/h}$ 控制；核医学其他工作用房关注点处剂量率按 $2.5\mu\text{Sv/h}$ 控制，但应对这些区域加强管理。

计算结果：

表 11-4 核医学科辐射工作场所屏蔽设计核算结果

工作场所及屏蔽计算参考源活度	屏蔽方位	剂量率控制值 ($\mu\text{Sv/h}$)	源距参考点距离 (m)	外照射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	计算厚度	设计厚度	是否符合
高活室 (370MBq, ^{18}F)	东侧墙体	2.5	3.05	5.71	63.08mm 混凝土	240mm 混凝土	符合
	西侧墙体	2.5	3.05	5.71	63.08mm 混凝土	240mm 混凝土	符合
	南侧墙体	2.5	2.92	6.23	69.75mm 混凝土	240mm 混凝土	符合
	南侧铅门	2.5	2.92	6.23	6.58mmPb	8mmPb	符合
	北侧墙体	2.5	4.44	2.68	/	240mm 混凝土	符合
	北侧铅门	2.5	4.44	2.68	/	8mmPb	符合
	顶棚	0.5	4.88	2.22	114.00mm 混凝土	180mm 混凝土	符合
	底板	0.5	4.20	3.00	136.94mm 混凝土	300mm 混凝土	符合
SPECT/CT 检查室 (925MBq, $^{99\text{m}}\text{Tc}$)	东、西侧墙体	2.5	4.71	0.77	/	240mm 混凝土	符合
	北侧墙体	2.5	3.12	1.75	/	240mm 混凝土	符合
	北侧铅门、铅玻璃	2.5	3.12	1.75	/	4mmPb	符合
	南侧墙体	2.5	3.12	1.75	/	240mm 混凝土	符合
	南侧铅门	2.5	3.12	1.75	/	4mmPb	符合
	顶棚	0.5	4.88	0.72	17.07mm 混凝土	180mm 混凝土	符合
	底板	0.5	4.20	0.97	31.40mm 混凝土	300mm 混凝土	符合
SPECT/CT 候诊室 (925MBq \times 3, $^{99\text{m}}\text{Tc}$)	东侧墙体	2.5	3.84	3.47	15.69mm 混凝土	240mm 混凝土	符合
	西侧墙体	2.5	3.84	3.47	15.69mm 混凝土	240mm 混凝土	符合
	南、北侧墙体	2.5	2.38	8.90	61.17mm 混凝土	240mm 混凝土	符合
	北侧铅门	2.5	2.38	8.90	0.56mmPb	4mmPb	符合
	南侧铅门	2.5	2.38	8.90	0.56mmPb	8mmPb	符合
	顶棚	0.5	4.88	2.14	69.55mm 混凝土	180mm 混凝土	符合
	底板	0.5	4.20	2.90	83.89mm 混凝土	300mm 混凝土	符合

续表 11-4 核医学科辐射工作场所屏蔽设计核算结果

工作场所及屏蔽计算参考源活度	屏蔽方位	剂量率控制值 ($\mu\text{Sv/h}$)	源距参考点距离 (m)	外照射剂量率 ($\mu\text{Sv/h}$)	计算厚度	设计厚度	是否符合
PET/CT 检查室 (370MBq, ^{18}F)	东、西侧墙体	2.5	5.14	1.29	/	240mm 混凝土	符合
	北侧墙体	2.5	3.12	3.51	25.90mm 混凝土	240mm 混凝土	符合
	北侧铅门、铅玻璃	2.5	3.12	3.51	2.44mmPb	8mmPb	符合
	南侧墙体	2.5	3.12	3.51	25.90mm 混凝土	240mm 混凝土	符合
	南侧铅门	2.5	3.12	3.51	2.44mmPb	8mmPb	符合
	顶棚	0.5	4.88	1.43	80.29mm 混凝土	180mm 混凝土	符合
	底板	0.5	4.20	1.93	103.23mm 混凝土	300mm 混凝土	符合
PET/CT 等候室 (370MBq \times 3, ^{18}F)	东侧墙体	2.5	4.62	4.78	49.61mm 混凝土	240mm 混凝土	符合
	西侧墙体	2.5	4.62	4.78	49.61mm 混凝土	240mm 混凝土	符合
	西侧铅门	2.5	4.62	4.78	4.68mmPb	8mmPb	符合
	南侧墙体	2.5	3.05	11.01	113.34mm 混凝土	240mm 混凝土	符合
	顶棚	0.5	4.88	4.29	164.26mm 混凝土	180mm 混凝土	符合
	底板	0.5	4.20	5.79	187.20mm 混凝土	300mm 混凝土	符合
留观室 (370MBq, ^{18}F)	东、西侧墙体	2.5	3.05	3.67	29.37mm 混凝土	240mm 混凝土	符合
	北侧墙体	2.5	1.995	8.553	94.01mm 混凝土	240mm 混凝土	符合
	南侧墙体	2.5	2.00	8.55	94.01mm 混凝土	240mm 混凝土	符合
	顶棚	0.5	4.88	1.43	80.29mm 混凝土	180mm 混凝土	符合
	底板	0.5	4.20	1.93	103.23mm 混凝土	300mm 混凝土	符合
病人注射后走道 (370MBq, ^{18}F)	南侧墙体	2.5	2.21	6.97	78.37mm 混凝土	240mm 混凝土	符合
	南侧铅门	2.5	2.21	6.97	7.39mmPb	8mmPb	符合
	顶棚	0.5	4.88	1.43	80.29mm 混凝土	180mm 混凝土	符合
	底板	0.5	4.20	1.93	103.23mm 混凝土	300mm 混凝土	符合

根据表 11-4 可知,核医学科辐射工作场所设计防护均符合屏蔽要求。医院应在实际建设过程中严格按照设计要求施工建设,则可确保核医学科辐射工作场所屏蔽体外辐射剂量率小于 $2.5\mu\text{Sv/h}$ (核医学科上、下层辐射剂量率小于 $0.5\mu\text{Sv/h}$)。

11.2.2 年附加有效剂量分析

(1) 公众成员的年附加有效剂量

根据核医学科布局设计、工作流程以及辐射防护管理制度分析,项目投入运行后,扫描检查和治疗工作区将作为辐射防护控制区进行管理,严格限制其他科室工作人员及非就诊者进入。正常情况下,工作人员和受检者以外的公众不允许控制区。在控制区进出口附近停留的受检者陪护人员、保洁人员和来访者可能受到一定的辐射照射。由于PET/CT检查

和SPECT/CT检查/核素治疗区域的注射前候诊区离相应的患者通道较远，且核医学科的患者通道属人员极少停留的区域，因此不再考虑该位置人员受照情况。

(2) 工作人员的年附加有效剂量

本项目共使用3种放射性核素，本次估算按照 ^{18}F 的最大用量及核医学科最大接诊人数进行计算。从工程分析中，工作人员所受的职业性照射剂量主要由下列部分构成：

① 放射性药物的分装、转运

根据建设单位改扩建项目规划，核医学科每天最多可接待 50 为病人。其中，使用 ^{18}F 病人数为 20 人， ^{18}F 药物需在通风橱完成分装（ ^{131}I 为固体药丸，不存在分装，每天最多病人数为 10 人； $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 在运输前生产厂家已完成分装，每天最多病人数为 20 人），每支药物分装时间为 1min，全年分装累计约 83.33h。分装柜表面 30cm 处剂量率为 $0.57\mu\text{Sv/h}$ ，此处分装年受照剂量为 0.05mSv/a 。分装完毕，工作人员将装有放射性药物的注射器防护盒转运至注射窗前，路程约 2m，以用时 4s 估计，注射器防护盒表面 30cm 处的剂量水平约为 $4.9\mu\text{Sv/h}$ ，则放射性药物转运过程中年受照剂量约为 0.03mSv/a 。

则放射性药物的分装、转运总的年受照剂量约为 0.08mSv/a 。

② 放射性药物注射

放射性药物注射时间为 20s/人，全年药物注射 10000 人次，注射全年累积约 55.56h。若按每名患者均注射最大药物量 370MBq ^{18}F ，工作人员躯干与放射源的距离为 50cm，工作人员在拟配置的 40mm 铅当量的注射窗后给患者注射，辐射剂量率约为 $0.82\mu\text{Sv/h}$ 。

则注射人员全身年受照剂量约为 0.05mSv 。

③ 受检者摆位

根据相关资料，注射 370MBq 的 ^{18}F 药物的病人，1m 处的剂量率约为 $30\mu\text{Sv/h}$ ，则工作人员给 ^{18}F 扫描受检者摆位时（距离 50cm）的剂量率约为 $120\mu\text{Sv/h}$ 。受检者摆位时间约为 20s，按全年检查 10000 人次，全年摆位累积约 55.56h。

则工作人员在受检者摆位过程中年累积受照剂量约为 6.67mSv 。

④ 扫描检查

扫描检查过程中，按 SPECT/CT 及 PET/CT 控制室观察窗表面 30cm 处剂量率为 $0.50\mu\text{Sv/h}$ 计算，每例检查时间约为 20min，每年检查 10000 人次。

则扫描控制室内操作人员年受照剂量约为 1.67mSv 。

综上所述，放射治疗项目工作人员全身年受照剂量约为 8.47mSv。医院现有 2 名技师负责放射性同位素操作，根据医院规划，项目运行后将再招聘 2 名技师，即有 4 名技师开展具体工作，每名技师接受的年附加剂量为 2.12mSv/a，满足工作人员年有效剂量约束值为 5mSv/a 的要求。

11.3 事故影响分析

11.3.1 放射性药物造成的事故分析

(1) 事故风险分析

本项目使用放射性药物作为显像药物，在正常营运情况下对于公众和周围环境是安全的。但是，如果操作管理不善或发生异常情况时，可能对公众和环境造成辐射危害，可能出现的情况有：

a. 放射性药物撒漏或放射性药品丢失

由于工作人员操作不熟练或者其他原因造成工作时放射性药物撒漏，以及放射性药物保管不善丢失，可能对公众和周围环境造成辐射污染；

b. 放射性废物管理不善

放射性废液未经足够长时间的暂存衰变，使排放超出规定的限值，可能对环境或人体造成一定危害；

放射性固体废物未经足够长时间的暂存衰变，擅自处置，可能对环境造成污染和对公众造成危害；

c. 屏蔽措施不当

如果对放射性核素工作场所屏蔽不当，可能对环境造成污染和对人员造成不必要的照射。

(2) 风险防范与事故应急处理措施

针对在核医学科工作场所放射性核素使用过程中可能出现的辐射事故，应采取一系列的预防措施，尽可能减小或控制事故的危害和影响：

a. 安保措施：核医学科高活室安装防盗门，室内设置闭路监视系统，以满足环保和公安部门关于放射性物品存放的要求；

b. 屏蔽防护：药物使用场所（高活室）、病人停留场所（检查室和等候室等）墙体采用混凝土进行屏蔽，防护门采用铅屏蔽，注射窗口及观察窗均采用铅玻璃结构，相关铅当量满足防护要求，即可减少电离辐射对周围环境的辐射影响；

c. 表面污染控制措施：在通风橱内分装放射性药物、在注射窗口完成药物注射。一旦发生撒漏致台面和地面污染的情况，及时采取擦拭方法去污，并用表面污染监测仪检测，直至表面污染水平满足标准要求。工作人员离开高活室后更换工作鞋和工作服，防止放射性污染扩散至控制区之外；

d. 放射性废物管理：设立专门的放射性废物间，配置专用铅制废物桶。每周定期收集高活室等场所产生的放射性废物，标注日期，定期开展清洁解控处理。设置放射性废液衰变池，将放射性废液集中收集暂存衰变，定期开展清洁解控处理。

11.3.2 射线装置造成的事故分析

（1）事故风险分析

本项目使用的 SPECT/CT 和 PET/CT 属于 III 类射线装置，发生辐射事故的概率较小，但仍应进行考虑。主要辐射事故体现在以下方面：

- a. 在射线装置工作状态下，安全连锁失效，人员误入机房产生误照射；
- b. 射线装置工作状态下，安全连锁失效，防护门未完全关闭，对经过或停留的人员产生误照射。

（2）风险防范与事故应急处理措施

对于射线装置可能发生的意外照射事故，关键在于预防，主要采取以下防范措施：

- a. 机房防护门处设置规范的电离辐射警告标志及中文说明，安装工作状态指示灯；
- b. 定期巡查机房防护门工作状态指示灯及安全连锁有效性；
- c. 规范医院诊断工作秩序，严格执行放射诊断操作规程和辐射安全管理制度；
- d. 定期检查安全制度落实情况，发现问题及时处理，消除隐患前不得继续使用；
- e. 定期组织开展辐射事故应急演练，当发生辐射事故时及时响应，将辐射事故影响降到最小。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全管理措施

(1) 辐射安全管理机构

医院已成立辐射安全领导小组，明确以法人为第一责任人，副总执行长为主要责任人暨领导小组组长，相关科室领导和专职管理人员参与具体工作。辐射安全领导小组主要负责全院辐射安全管理工作，规范全院医用II、III类射线装置和医用乙级非密封放射性物的使用管理。

(2) 辐射安全管理制度

医院已制定《辐射安全管理体系与岗位职责》、《操作规程》、《辐射防护和安全保卫制度》、《放射工作人员管理制度》、《辐射安全培训制度》、《射线装置台账管理制度》、《放射性药品台账管理制度》、《辐射监测方案》、《设备检修维护制度》、《放射性废物管理制度》、《辐射事故应急预案》等，并要求严格执行。

(3) 工作人员培训

医院规定所有辐射工作人员，在上岗前必须接受环保部门认可培训机构组织的辐射防护与安全培训，并考试合格后上岗。每4年参加一次复训。

医院现有辐射工作人员70人，已组织全部辐射工作人员参加了辐射防护与安全知识培训，并取得了培训证书。其中，核医学科辐射工作人员共11人（培训证书见附件9），本项目运行后计划再招聘2人，届时将安排新晋辐射工作人员及时参加培训。核医学科辐射工作人员及培训情况见表12-1。

表 12-1 核医学科辐射工作人员及培训情况一览表

序号	姓名	性别	专业	培训时间	培训证号	备注
1	郑卓肇	男	影像医学与核医学	2015.10.30	A1512033	医师
2	马永强	男	影像医学与核医学	2015.10.30	A1512035	医师
3	尚瑶	女	影像医学与核医学	2015.10.30	A1512036	医师
4	张晨	女	影像医学与核医学	2014.8.29	B1416012	医师
5	赵本琦	男	医学影像与核医学	2015.10.30	A1512038	医师
6	李燕	女	医学影像与核医学	2014.8.29	B1416017	医师
7	李洁	女	临床医学	2015.10.30	A1512037	医师
8	齐华文	男	基础医学	2017.4.6	A1702044	技师
9	赵海旭	男	医学影像技术	2015.10.30	A1512039	技师
10	王丹	女	护理	2014.8.29	B1416014	护理
11	秦琳	女	护理	2016.8.17	A1610112	护理

(4) 个人剂量监测及职业健康体检

北京清华长庚医院已制定了相关管理制度，要求全院辐射工作人员（含工作超过 6 个月以上的实习生或进修人员）每季度接受个人剂量监测，并建立个人剂量监测档案；每两年进行一次职业健康体检，建立职业健康体检档案。

全院辐射工作人员的个人剂量监测工作已委托北京蓝道尔辐射监测技术有限公司承担，监测频度为 1 次/季度；每季度的个人剂量检测结果和每年度的个人剂量检测报告存档备案。已安排全部辐射工作人员每两年进行一次职业健康体检，体检报告均已存档保存。

(5) 工作场所及辐射环境监测

医院已配备有 1 台 FLUKE 451P 型电离室巡测仪、1 台 RADOS/RDS-80 型表面污染监测仪及 3 台 RAD-60 型个人剂量报警仪。因本项目是在原有核医学科工作场所基础之上进行改造，原有工作模式及监测方法仍然适用，因此医院现有的监测方案能够满足本项目的日常监测要求。但在项目改扩建完成后，应在已有监测方案中对监测点位进行相应补充。

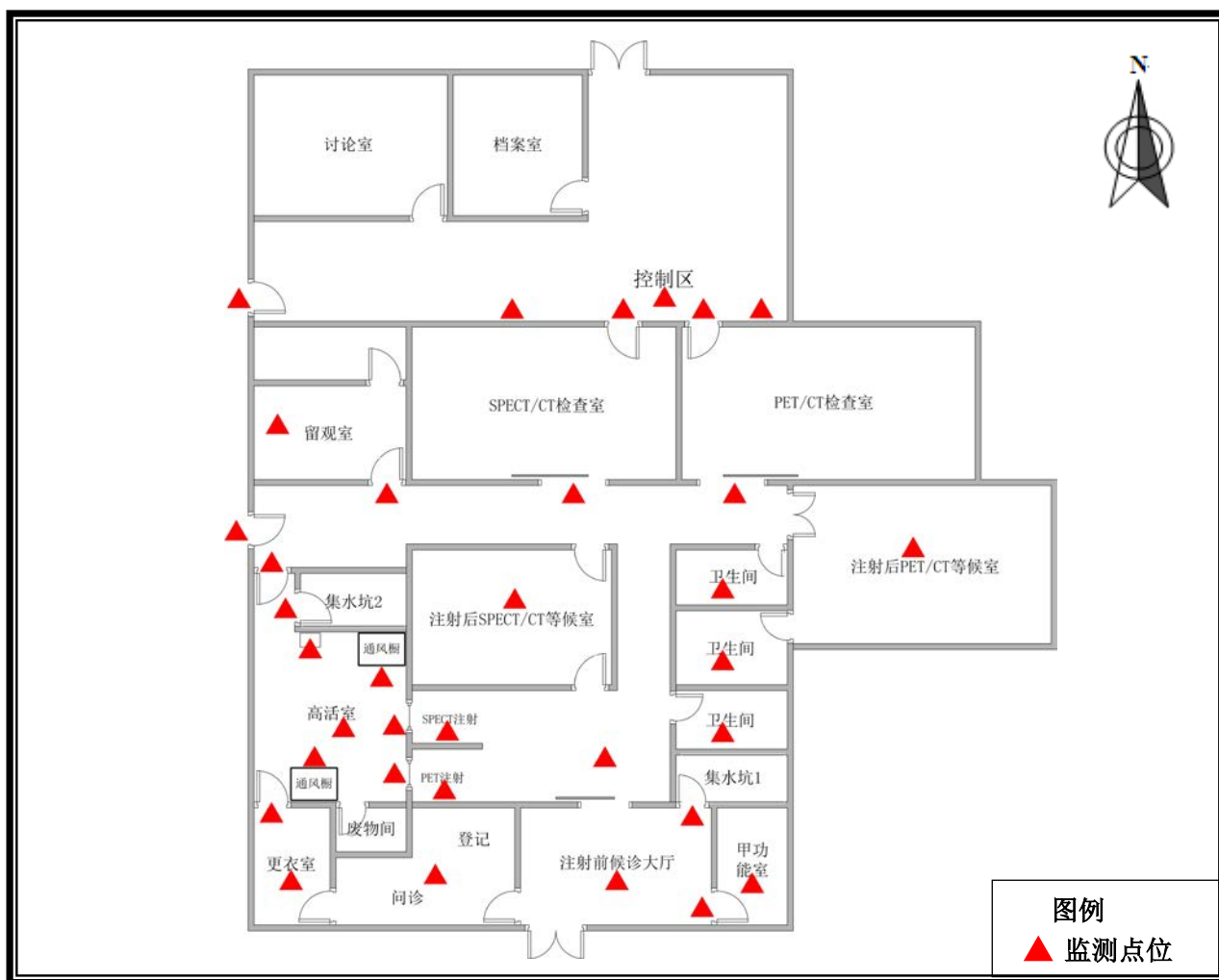


图12-1 核医学科改扩建后辐射环境自行检测点位示意图

(6) 辐射事故应急管理

医院已建立的《辐射事故应急预案》中，已列出可能发生的辐射事故，并对事故发生后的处理流程及应急保障等提出了明确规定；在日常工作中，还应定期组织辐射事故应急演练。医院已有应急预案能满足本项目的相关需求。

12.2 与相关法规文件的符合情况

依据《关于修改〈放射性同位素与射线装置安全许可管理办法〉的决定》（环境保护部令第3号，2008年）和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环境保护部令第18号，2011年）规定，现对北京清华长庚医院从事本项目辐射活动的的能力评价列于表12-2和表12-3。

12.2.1 对照“环保部3号令”要求的满足情况

环保部2008年第3号令《关于修改〈放射性同位素与射线装置安全许可管理办法〉的决定》第十六条对拟使用射线装置和放射性同位素的单位提出了具体条件，本项目具备的条件与“3号令”要求的符合性分析如表12-2所示。

表 12-2 本项目与“环保部 3 号令”的符合性分析一览表

应具备条件	本项目情况	符合情况
16.1 使用放射性同位素、射线装置的单位，应当设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名技术人员专职或者兼职负责辐射安全与环境保护管理工作。	已成立辐射安全领导小组，规范全院医用 II、III 类射线装置和医用乙级非密封放射性物的使用管理。	符合
16.2 从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核。	已组织所有辐射工作人员参加辐射防护与安全知识培训，并取得了培训证书。其中，核医学科辐射工作人员共 11 人，本项目运行后计划再招聘 2 人，届时将安排新晋辐射工作人员及时参加培训。	符合
16.3 使用放射性同位素的单位应当有满足辐射防护和实体保卫要求的放射源暂存库或设备。	拟设置足够辐射防护要求的高活室和通风橱，并配备相应防护用品。	符合
16.4 放射性同位素和射线装置使用场所所有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。	核医学科辐射工作场所出入口和射线装置机房门口等显著位置处均粘贴电离辐射警告标志和中文警示说明，安装门机联锁装置；机房门口设置工作状态指示灯。	符合
16.5 配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人剂量测量报警、辐射监测等仪器。	已配备有 1 台 FLUKE 451P 型电离室巡测仪、1 台 RADOS/RDS-80 型表面污染监测仪及 3 台 RAD-60 型个人剂量报警仪。	符合
16.6 有健全的操作规程、岗位职责、辐射防护和安全保卫制度、设备检修维护制度、射线装置使用登记制度、人员培训计划、监测方案等。	已制定《辐射安全管理体系与岗位职责》、《操作规程》、《辐射防护和安全保卫制度》、《放射工作人员管理制度》、《辐射安全培训制度》、《射线装置台账管理制度》、《放射性药品台账管理制度》、《辐射监测方案》、《设备检修维护制度》、《放射性废物管理制度》等一系列规章制度	符合
16.7 有完善的辐射事故应急措施。	已建立《辐射事故应急预案》，列出了可能发生的辐射事故，并对事故发生后的处理流程及应急保障等提出了明确规定	符合
16.8 产生放射性废气、废液、固体废物的，还应具有确保放射性废气、废液、固体废物达标排放的处理能力或者可行的处理方案。	核医学科工作场所设置独立的排风系统。建有废水衰变池，所有放射性废水经过衰变后，排入医院污水处理池，最后排入市政污水管道。放射性固废集中收集，在废物间暂存衰变。	符合

12.2.2 对“环保部 18 号令”要求的满足情况

环保部 2011 年第 18 号令《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》对拟使用射线装置和放射性同位素的单位提出了具体条件，本项目具备的条件与“18 号令”要求的符合性分析如表 12-3 所示。

表 12-3 本项目与“环保部 18 号令”的符合性分析一览表

安全和防护管理办法要求	本项目情况	符合情况
<p>第五条：生产、销售、使用、贮存放射性同位素与射线装置的场所，应当按照国家有关规定设置明显的放射性标志，其入口处应当按照国家有关安全和防护标准的要求，设置安全和防护设施以及必要的防护安全联锁、报警装置或者工作信号。射线装置的生产调试和使用场所，应当具有防止误操作、防止工作人员和公众受到意外照射的安全措施。</p>	<p>核医学科工作场所出入口显著位置处设置放射性警告标识和中文警示说明。人员通道入口设置工作人员专用门禁、监控系统等安全防范设施。射线装置机房门口显著位置处设置电离辐射警告标识及中文说明，安装工作状态指示灯及安全联锁。</p>	<p>符合</p>
<p>第九条：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照国家环境监测规范，对相关场所进行辐射监测，并对监测数据的真实性、可靠性负责；不具备自行监测能力的，可以委托经省级人民政府环境保护主管部门认定的环境监测机构进行监测。</p>	<p>定期对辐射工作场所及其周围环境开展自行监测；每年委托有资质单位开展委托监测，监测记录存档。</p>	<p>符合</p>
<p>第十三条：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当对本单位的放射性同位素与射线装置的安全和防护状况进行年度评估，并于每年 1 月 31 日前向发证机关提交上一年度的评估报告。</p>	<p>承诺每年 1 月 31 日前向环保部门提交年度评估报告。</p>	<p>符合</p>
<p>第十七条：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照环境保护部审定的辐射安全培训和考试大纲，对直接从事生产、销售、使用活动的操作人员以及辐射防护负责人进行辐射安全培训，并进行考核；考核不合格的，不得上岗。</p>	<p>已组织所有辐射工作人员参加辐射防护与安全知识培训，并取得了培训证书。其中，核医学科辐射工作人员共 11 人，本项目运行后计划再招聘 2 人，届时将安排新晋辐射工作人员及时参加培训。</p>	<p>符合</p>
<p>第二十三条：生产、销售、使用放射性同位素与射线装置的单位，应当按照法律、行政法规以及国家环境保护和职业卫生标准，对本单位的辐射工作人员进行个人剂量监测；发现个人剂量监测结果异常的，应当立即核实和调查，并将有关情况及时报告辐射安全许可证发证机关。</p>	<p>已为所有辐射工作人员配备个人剂量计，每季度进行检测。发现检测结果异常时立即开展调查及处理。相关情况及时上报。</p>	<p>符合</p>

12.3 “三同时”竣工验收

建设项目需要配套建设的环境保护设施，必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用。建设项目“三同时”验收内容和要求见表 12-4。

表 12-4 本项目验收内容及要求

验收项目	验收内容及要求
剂量限值	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中职业人员每年所受到的有效剂量不超过 20mSv，公众成员每年所接受的平均有效剂量不超过 1mSv。职业人员的年有效剂量约束值为 5mSv/a，公众成员的年有效剂量约束值为 0.1mSv/a。
布局和屏蔽设计	工作场所分区合理，屏蔽墙和防护门的辐射防护屏蔽能力满足辐射防护法规和标准要求。
工作场所放射性表面污染控制要求	控制区（高活室、SPECT/CT 检查室、SPECT/CT 候诊室、PECT/CT 检查室、PECT/CT 候诊室、病人卫生间、废物间、病人通道等）工作台、设备、墙壁和地面 β 放射性物质 $\leq 40\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。监督区（SPECT/CT 及 PET/CT 操作间、注射前候诊大厅、登记/问诊室、更衣室等）工作台、设备、墙壁和地面 β 放射性物质 $\leq 4\text{Bq}/\text{cm}^2$ 。
电离辐射标志和中文警示	工作场所出入口处设置电离辐射警告标志和中文警示说明。SPECT/CT 检查室及 PECT/CT 检查室防护门处设置工作状态指示灯。
规章制度	制定完整、有效可行的规章制度。
应急预案	制定有相应的事故应急预案。
人员培训和考核	从事管理工作和辐射工作的所有人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核，取得合格证书。
个人剂量档案	每季度开展个人剂量检测，建立个人剂量档案。
职业健康体检	每两年组织开展职业健康体检，建立职业健康体检档案
监测仪器	配备 3 台个人剂量报警仪、1 台表面污染监测仪、1 台电离室巡测仪。

表 13 结论与建议

13.1 结论

(1) **项目概况：**本项目位于北京市昌平区立汤路 168 号。本次拟在现有核医学科基础之上进行改扩建，对现有核医学科用房进行更为合理的布设，将放射性药物的暂存、分装、注射等活动集中于 1 间高活室内完成，规范医生、病人“双通道”；将靠近核医学科部分核磁共振用房改建为 1 间 PET/CT 检查室及 1 间 PET/CT 候诊室，配备 1 台 PET/CT，增加使用放射性同位素药物 ^{18}F 。改扩建项目不影响医院原有已批准的辐射活动种类和范围。

(2) **实践正当性分析：**本次改扩建项目旨在更好的提升核医学科诊疗水平和满足患者需求，具有良好的社会效益和经济效益，其获得的利益远大于辐射效应可能造成的损害，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于辐射防护“实践正当性”的要求。

(3) **选址合理性分析：**本次改扩建项目拟对原有核医学科工作场所进行改造，不另选址。本次拟增加 PET/CT 检查室和注射后 PET/CT 等候室紧临原有核医学科工作场所，充分考虑了周围场所的防护与安全，工作场所与周边其他区域均有墙体作为实体边界。增加的工作场所相对独立，便于患者就诊和临床应用，对公众的影响也较小。因而从辐射环境保护方面论证，该项目选址是合理可行的。

(4) **辐射环境影响评价：**根据对项目工作场所屏蔽分析可知，项目运行后对辐射工作人员及公众成员的附加年有效剂量均满足《电离辐射与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的辐射工作人员、公众成员年有效剂量限值分别为 20mSv、1mSv 的要求，同时也满足本项目对辐射工作人员、公众成员所取年有效剂量约束值分别 5mSv、0.1mSv 的要求。

(5) **本项目主要的环境问题：**本项目在运行过程中，核医学科运行时对周边环境产生的辐射影响。另外，预计核医学科改扩建完成后，每年产生放射性废水约 160m^3 ，放射性废水经暂存衰变后预计能够符合排放限值要求；每年产生放射性固体废物约 60kg，放射性沾染物品收集暂存衰变，符合清洁解控水平的废物按照医疗废物处置。

(6) **辐射防护措施：**医院已按照《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》（国务院第 449 号令）、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（环保部第 3 号令）、《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（环保部第 18 号令）的规定，成立了辐射安全与防护管理机构，制定了各项安全管理规章制度、安全操作管理程序和应急预案。

综上所述，北京清华长庚医院具备从事辐射活动的技术能力，在严格落实各项辐射防护措施后，该项目运行时对周围环境产生的影响符合辐射环境保护的要求，故从辐射环境保护角度论证，该项目的运行是可行的。

13.2 建议及承诺

为了保护环境，保障人员健康，北京清华长庚医院承诺：

(1) 项目运行过程中不违规操作，不弄虚作假，严格遵守有关法律、法规的规定，执行各项管理制度，落实管理责任；

(2) 重视医院的核安全文化建设；

(3) 严格按照项目设计图纸和施工技术规范组织施工，加强施工质量管理；

(4) 严格按有关要求开展辐射安全与防护培训、个人剂量监测、职业健康体检及工作场所监测等工作；

(5) 强化放射性药品采购和使用过程的规范化管理；

(6) 项目投入试运行后 3 个月内，申请项目环境保护竣工验收。经环保部门验收合格后方可投入试运行，并接受环保部门的监督检查。

表 14 审批

下一级环保部门预审意见：

公 章

经办人

年 月 日

审批意见：

公 章

经办人

年 月 日